BHS
II H
184

Berechnung elektrischer Maschinen.

Handbuch für Fachleute.

Von

Ernst Heinrich Geist,
Ingenieur.

München.
Druck und Verlag von R. Oldenbourg.
1889.

II 9
H 184

Bergfriedrische Berg-, Hütten- und Salzwerke
Bibliothek:
Gruppe II 90
B Nr. 184
Aktiengesellschaft

BHS II H 184

Berechnung

elektrischer Maschinen.

Handbuch für Fachleute.

Von

Ernst Heinrich Geist,

Ingenieur.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL
BERGW.U.SALINEN
ADMINISTR.

München.

Druck und Verlag von R. Oldenbourg.

1889.

Das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen ist vorbehalten.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Bei der nachfolgenden Entwickelung der Berechnung elektrischer Maschinen galt es, die Maschinenelemente untereinander und mit den ihnen zugeteilten Bewegungen in Beziehung zu bringen, so dafs dem Maschinenbauer nur obliegt, mit einigen Annahmen den Charakter der auszuführenden Maschine zu bestimmen und die erfahrungsmäfsigen, dem Charakter der Maschine entsprechenden Werte der Konstanten in den Formeln einzuführen. Es ist nicht beabsichtigt, solche Konstanten als Erfahrungsresultate in Zahlen zu geben, also z. B. die Verhältnisse von Wickelraum und Eisenvolumen für verschiedene Anordnungen u. dgl. Wo auch immer die Konstanten mit Zahlen benannt wurden, geschah dies, um den Überblick der Rechnung zu erleichtern und ohne Anspruch auf unbedingte Richtigkeit der Annahme; keine der Zahlen rührt von bestehenden Maschinen her.

Wildburgmühle, im Oktober 1888.
(bei Treis a. d. Mosel)

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

I. Abschnitt.

Allgemeine Entwickelung der Berechnung.

Seite

1. Bezeichnungen 1
2. Die Polzahl 3
3. Die ideelle Drahtlänge 5
4. Der Wickelraum 7
5. Das Verhältnis J und die Eisenkerndimensionen des induzierten Ringes . 7
6. Das Verhältnis J^h 10
7. Die Eisendimensionen des induzierenden Ringes 12
8. Die Bewickelung des induzierenden Ringes 12
9. Das elektrische Güteverhältnis der Maschine 13

II. Abschnitt.

Erläuterungen und Beispiele.

A. Hauptschlufsmaschinen.

1. Maschine für 10 Volt und 12 Ampère mit 250 Umdrehungen . . . 14
2. „ „ 10 „ „ 12 „ „ 1000 „ . . . 16
3. „ „ 100 „ „ 100 „ „ 125 „ . . . 18
4. „ „ 100 „ „ 100 „ „ 250 „ . . . 20
5. „ „ 100 „ „ 100 „ „ 500 „ . . . 23
6. „ „ 100 „ „ 100 „ „ 1000 „ . . . 25
7. „ „ 100 „ „ 1000 „ „ 125 „ . . . 27
8. „ „ 100 „ „ 1000 „ „ 500 „ . . . 29

B. Nebenschlufsmaschinen.

1. Bezeichnungen 32
2. Der Nebenschlufs 32
3. Das elektrische Güteverhältnis der Maschine 33
4. Maschine für 10 Volt und 1000 Ampère bei 125 Umdrehungen 34
5. „ „ 10 „ „ 1000 „ „ 250 „ 36
6. „ „ 10 „ „ 1000 „ „ 500 „ 39
7. „ „ 10 „ „ 1000 „ „ 1000 „ 42

C. Doppelschlufsmaschinen.

1. Die Bewickelungen der induzierenden Magnete 45
2. Das elektrische Güteverhältnis der Maschine 45
3. Maschinen für 100 Volt und 100 Ampère bei 600 Umdrehungen . . . 46

D. Elektromotoren.

Seite

1. Anforderungen 48
2. Mehrere gleiche parallel geschaltete Maschinen 50
3. Mehrere gleiche hintereinander geschaltete Maschinen 51
4. Das elektrische Güteverhältnis der Maschine 53
5. Maschine für 1000 Volt und 60—240 Ampère bei der mittleren Umdrehungszahl 300. Bei mittlerer Arbeitsleistung soll die Maschine zwischen 150 und 450 Umdrehungen regulierbar sein und soll die kleinste verfügbare elektrische Arbeit bei einer Umdrehungszahl 300 umsetzen können 53

E. Wechselstrommaschinen.

1. Verschiedene Arten der Anordnung, Erregung und des Betriebes . . . 55
2. Das elektrische Güteverhältnis der Maschine 55
3. Mit Gleichstrom sich selbsterregende Wechselstrommaschine für 100 Volt und 240 Ampère bei 100 Umdrehungen 56
4. Aufsen erregte Wechselstrommaschine für 2000 Volt und 150 Ampère bei 100 Umdrehungen 58

F. Transformatoren.

1. Die Wickelungen 61
2. Güteverhältnis 62
3. Transformator für 2000 Volt in der induzierenden und 50 Volt und 160 Ampère in der induzierten Bewickelung 63

III. Abschnitt.

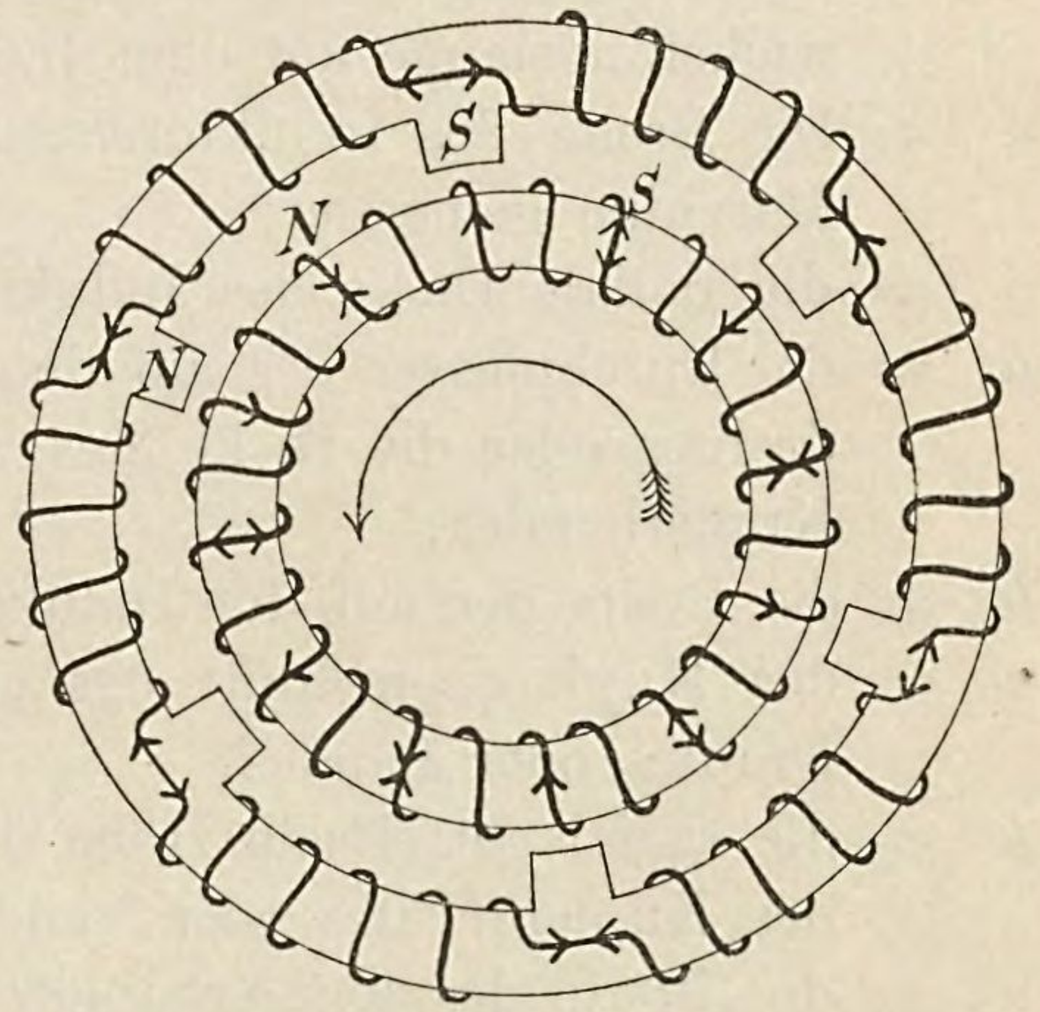
Anhang.

A. Flachringmaschine für 1000 Volt 10 Ampère und 900 Umdrehungen 64
B. Schaltungsregeln für elektrische Maschinen 67

I. Abschnitt.

Allgemeine Entwickelung der Berechnung.

1. **Bezeichnungen.** Der allgemeinen Entwickelung der Berechnung einer Dynamomaschine sei der Aufbau der neben schematisch gezeichneten mehrpoligen Hauptschlufsmaschine zu Grunde gelegt. Der Anker habe die Form eines cylindrischen Ringes. Die induzierenden Magnete seien symmetrisch den induzierten als Ring gestaltet und aufserhalb des Ankers angeordnet. Die Verbindung der Bewickelungen sei derart durchgeführt, dafs die den Pfeilen entsprechende Richtung des Stromes aufkommen kann. Bei diesem Aufbau der Maschine lassen sich Maschinen verschiedener Leistung durch Veränderung der Breite beider Ringe in der Achsrichtung, durch Aneinanderreihung und Zusammenschaltung mehrerer Maschinen auf einer Achse und durch Vervielfältigung der Magnete entwickeln. Die Untersuchung von Maschinen des angegebenen Aufbaues ergibt Resultate, die benutzt werden können bei Maschinen, welche anderen Aufbau verlangen in ihren Elementen. Für eine solche Maschine seien alle Mafse gegeben in Volt, Ampère, Millimeter, Kilogramm und Sekunden, wo es nicht ausdrücklich anders bemerkt ist und es werde bezeichnet mit:



V = die an den Bürsten gemessene Spannung. Die wirklich von der Maschine zur Verfügung gegebene oder aufgenommene Spannung ist eine andere für Hauptschlufsmaschinen und Doppelschlufsmaschinen und ist die gleiche bei Nebenschlufsmaschinen;

A = die von der Maschine zu gebende oder aufzunehmende gröfste Stromstärke. Die wirklich von der Maschine zur Verfügung gegebene oder aufgenommene Stromstärke ist eine andere für Nebenschlufsmaschinen und Doppelschlufsmaschinen und ist die gleiche für Hauptschlufsmaschinen;

P = die Polzahl der Maschine;

n = die Umdrehungszahl des Induktors in der Minute;

m = die mittlere peripherische Länge eines Induktormagnetes. Die Mitte eines Induktormagnetes liegt unter der Mitte des induzierenden Polschuhes, Anfang und Ende an den vor und hinter den Polschuhen liegenden Bürsten, wie sich aus dem Stromlaufe ergibt;

D = der mittlere Durchmesser des Induktors;

v = die mittlere Umfangsgeschwindigkeit des Induktors;

a = die gröfste durch die Bewickelung eines Induktormagnetes gehende Stromstärke;

l = die ganze auf einem Induktormagnete aufgebrachte Drahtlänge;

L = die ideelle Drahtlänge, d. h. die in der Sekunde durch ein Magnetfeld hindurchgeführte Drahtlänge oder die in der Sekunde zwischen zwei benachbarten Bürsten liegende Drahtwickelungslänge auf dem Induktor;

λ = Die Breite des Induktoreisenkernes in der Achsrichtung der Maschine gemessen;

ϱ = die radiale Dicke des Induktoreisenkernes;

d = der Durchmesser des auf den Induktor aufgebrachten Kupferdrahtes oder die Dicke des auf den Induktor aufgebrachten Kupferbandes;

b = die Breite des auf den Induktor aufgebrachten Kupferbandes;

q = der Kupferquerschnitt des auf den Induktor aufgebrachten Drahtes oder Bandes;

k = die radial gemessene Höhe des Wickelraumes oder die Dicke des Kupferdrahtes oder Bandes einschliefslich der Isolation;

u = die Breite des Kupferbandes einschliefslich der Isolation;

J = das Verhältnis des kupfererfüllten Wickelraumes eines Induktormagnetes zum Volumen des bewickelten Eisenkernes;

w = die Anzahl der Windungen nebeneinander auf einem Induktormagnete;

s = die Anzahl Spulen, in welche die Länge l oder die Windungszahl w eingeteilt wird;

f = die auf die einzelnen Induktormagnete verteilte, durch die Induktorspeichen in Anspruch genommene peripherische Länge eines Magnetes;

m' = die mittlere peripherische bewickelbare Länge eines induzierenden Magnetes;

D' = der mittlere Durchmesser des Ringes der induzierenden Magnete;

a^h = die gröfste durch die Hauptschlufsbewickelung eines induzierenden Magnetes gehende Stromstärke;

l^h = die ganze auf einem induzierenden Magnete aufgebrachte Drahtlänge des Hauptschlusses;

λ' = die Breite des bewickelten Eisenkernes eines induzierenden Magnetes in der Achsrichtung gemessen;

ϱ' = die radiale Dicke des bewickelten Eisenkernes eines induzierenden Magnetes;

p' = die peripherische Länge eines Polschuhes im Durchmesser D' gemessen;

d^h = der Durchmesser des auf einem induzierenden Magnete aufgebrachten Kupferdrahtes der Hauptschlufsbewickelung;

q^h = der Kupferquerschnitt des auf einem induzierenden Magnete aufgebrachten Drahtes der Hauptschlufsbewickelung;

k^h = die Dicke des Kupferdrahtes oder Bandes einschliefslich der Isolation auf einem induzierenden Magnete;

J^h = das Verhältnis des durch die Hauptschlufsbewickelung kupfererfüllten Wickelraumes eines induzierenden Magnetes zum Volumen des überwickelten Eisenkernes;

w^h = die Anzahl der Hauptschlufswindungen auf einem induzierenden Magnete.

Zur Berechnung einer Maschine sei die Spannung V, die Stromstärke A und die Umdrehungszahl in der Minute n gegeben.

Die Berechnung werde in der Art durchgeführt, dafs die Polzahl bestimmt wird. Wird mit der Polzahl in die totale, von der Maschine verlangte Arbeit dividiert, so ergibt sich die Anzahl Volt-Ampère, welche auf einen Induktormagnet trifft. Diese elektrische Arbeit bestimmt die Gröfse des notwendigen Wickelraums und in Abhängigkeit davon das Volumen des Eisenkernes. Unter Annahme einer Beziehung zwischen der Konstruktion der induzierten und induzierenden Magnete resultiert die Wickelung und das Eisenvolumen für die letzteren und damit ist die Maschine bestimmt.

2. **Die Polzahl.** Ohne Rücksicht auf die Zweckmäfsigkeit der Anwendung von Maschinen angedeuteter Konstruktion zur Hervorbringung von Gleichströmen oder Wechselströmen, werde bestimmt, dafs die nachfolgend zu berechnenden Maschinen bei zweckentsprechender unterschiedlicher Schaltung der Induktorbewickelung und Erregung der induzierenden Magnete zur Abgabe von Wechsel-

strom wie von Gleichstrom geeignet sein sollen. Diese Bestimmung legt das Verhältnis zwischen Umfangsgeschwindigkeit v und Magnetlänge m fest, wenn zur Hervorbringung von Wechselströmen 100 Polwechsel in der Sekunde bedingt werden. Die Umfangsgeschwindigkeit v mufs demnach das Hundertfache der Magnetlänge m betragen. Hiermit ergibt sich die erste Bedingungsgleichung

$$\frac{v}{m} = 100 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Diese willkürliche Bedingung ist durch eine andere zu ersetzen, wenn andere Anforderungen an die zu berechnende Maschine gestellt werden. Die Maschine wird billiger je gröfser die Umfangsgeschwindigkeit v gewählt wird.

Die Anzahl der Pole multipliziert mit der Magnetlänge m gibt den mittleren Umfang des Induktors:

$$P\,m = D\,\pi.$$

Dieser Wert für den mittleren Umfang des Induktors werde in die Gleichung für die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v eingetragen

$$v = \frac{D\ \pi \cdot n}{60} \text{ und es ergibt sich}$$

$$P = \frac{60 \cdot v}{m \cdot n} \text{ woraus unter Berücksichtigung von Gl. (1)}$$

$$P = \frac{6000}{n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Die auf einen Magnet kommende Stromstärke bestimmt sich somit

$$a = \frac{A}{P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Die Bewickelung des Induktormagnetes m, welcher ein Magnetfeld passiert mit einer Geschwindigkeit, die gleich dem $\frac{v}{m}$ fachen seiner Länge ist, ergibt die Spannung V, welche proportional dem Werte $\frac{v}{m}$, d. h. der Zahl der Polwechsel. Demnach ist die Bewickelung des Induktormagnetes zu berechnen, als gäbe sie die Spannung V dividiert durch die Anzahl der Polwechsel. Damit ist die auf die Drahtlänge l treffende Spannung $V \cdot \frac{m}{v} = \frac{V}{100}$ gefunden und die Gleichung

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = a \cdot \frac{V}{100} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

bemifst die elektrische Arbeit eines Induktormagnetes, die für die Bewickelung mafsgebend ist, und es läfst sich aus der Stromstärke a

auf den Kupferquerschnitt der Bewickelung und aus der Spannung $V\frac{m}{v} = \frac{V}{100}$ auf die Länge l schliefsen und damit der kupfererfüllte Wickelraum bestimmen. Zur Bestimmung dieser Werte von q und l führt folgende Überlegung.

3. **Die ideelle Drahtlänge.** Die von der Bewickelung eines Induktormagnetes zur Verfügung gegebene Spannung ist proportional, sofern es Konstruktion und Bewegung des Magnetes selbst angeht, der aufgebrachten Drahtlänge l und der Zahl der Polwechsel, also dem Produkte

$$l \cdot \frac{v}{m}$$

und dieser Wert stellt eine Drahtlänge L dar, welche die ideelle Drahtlänge genannt werden möge und aufgefafst werden kann als die Drahtlänge, welche in der Zeiteinheit durch ein Magnetfeld hindurchgeführt wird, oder welche in der Zeiteinheit zwischen zwei benachbarten Bürsten zu liegen kommt oder welche die Länge der Bewickelung eines ideellen Magnetes darstellt, der die Länge $m \cdot \frac{v}{m} = v$ hat. Diese ideelle Drahtlänge ist auch gleich der ganzen Länge der Induktorbewickelung $P \cdot l$ multipliziert mit der Zahl die angibt, wie oft der Umfang $P \cdot m$ in der Umfangsgeschwindigkeit v enthalten ist, also

$$L = P \cdot l \cdot \frac{v}{Pm} = l \cdot \frac{v}{m}.$$

Der Widerstand dieser ideellen Drahtlänge L ist proportional $\frac{V}{a}$ und für die parallel geschalteten Induktormagnete zusammen

$$\frac{V}{P \cdot a} = \frac{V}{A}.$$

Dieser Widerstand, der Gesamtwiderstand einer Maschine ohne Rücksicht auf die Bewickelung der induzierenden Magnete soll dem minimalen Widerstande des äufseren Stromkreises der Maschine gleich sein.

Der Widerstand von L läfst sich aber auch ausdrücken mit Rücksicht auf Länge, Querschnitt und Leitungsfähigkeit, also gleich

$$\frac{L}{q \cdot 60000},$$

und dieser Wert des Widerstandes der ideellen Drahtlänge dem oben gefundenen gleichgesetzt, ergibt

$$\frac{V}{a} = \frac{L}{q \cdot 60000} \text{ und damit } L = V \cdot \frac{q}{a} \cdot 60000.$$

Demnach ist L proportional der verlangten Spannung, multipliziert mit einer Konstanten, die sich zusammensetzt aus einem Quotienten, welcher bestimmt wie grofs der Leitungsquerschnitt für die Einheit der Stromstärke zu nehmen ist und aus der Leitungsfähigkeit, d. h. der Anzahl Millimeter Leitungslänge, welche 1 Ohm Widerstand repräsentieren. Die Konstante ist folglich für alle Leitungsmateriale gleich und sie werde = 24000 gesetzt im Nachfolgenden

$$L = 24000\ V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Mit L ist auch nach früher entwickelter Gleichung $L = l \cdot \frac{v}{m}$ die Gröfse von l bestimmt. Also

$$l = L \cdot \frac{m}{v} = 24000 \cdot V \cdot \frac{m}{v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

und in Berücksichtigung der hier geltenden Gl. (1)

$$l = 240 \cdot V \, . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Gl. (6) gibt die Länge l als Produkt einer Konstanten mal der Spannung, welche zur Magnetlänge m gehört.

Mit der Festlegung der Konstanten war bestimmt, dafs

$$\frac{q}{a} \cdot 60000 = 24000$$

sein solle. Für Kupferdraht wird damit

$$q = 0{,}4\, a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

gesetzt und

$$d = \sqrt{\frac{a}{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Mit der Festlegung der Konstanten = 24000 wurde also die spezifische Inanspruchnahme der Querschnitte der Bewickelung bestimmt, und es ist die Länge L eine derartige, dafs die Spannung V eine Stromstärke a darin erzeugt, so dafs 2,5 Ampère auf 1 qmm Kupferquerschnitt treffen. Es liegt in den Händen des Maschinenbauers, den Wert der Konstanten zu bemessen. Wird die Konstante gröfser als 24000 gewählt, so wird die spezifische Inanspruchnahme des Kupferquerschnittes und damit die Erwärmung der Drähte geringer, die Maschine wird gröfser, teurer, ihr Nutzeffekt höher. Wird die Konstante kleiner als 24000 gewählt, so wird bei höherer Inanspruchnahme und Erwärmung des Kupfers die Maschine geringeres Güteverhältnis haben und billiger sein.

Für Bewickelung der Maschine mit Eisendraht wäre bei Annahme derselben Konstanten

$$\frac{q}{a} \cdot 10000 = 24000,$$

demnach die Beanspruchung des Querschnittes ausgedrückt durch

$q = 2{,}4\,a$, wobei allerdings die gröfsere Abkühlungsoberfläche u. dgl. des dickeren Drahtes nicht berücksichtigt ist.

4. **Der Wickelraum.** Mit den Gl. (6) oder (7) für die Länge l und der Gl. (8) für den Kupferquerschnitt ist die Gröfse des kupfererfüllten Wickelraums bestimmt, und es läfst sich bei Bestimmung der Form des Querschnittes der Bewickelung und der Isolation der notwendige Raum für die isolierte Bewickelung ermitteln.

Die radial gemessene Höhe des Wickelraumes, die Gröfse k, soll in den folgenden Rechnungen nicht gröfser als 4 mm angesetzt werden, damit die Entfernung zwischen Polschuhfläche und Induktoreisenkern ein mit k und dem freien Spielraum zwischen Induktor und Polschuhfläche bestimmtes Mafs nicht überschreite. Demnach darf für runden Draht oder Kupferband der Durchmesser oder die Dicke, einschliefslich der doppelten Isolationsdicke, höchstens 4 mm betragen; es ist also Kupferdraht oder Kupferband von 3,2 mm Dicke der stärkste, der in Anwendung gebracht werden kann, wenn die Isolationsdicke 0,8 mm als die dem Durchmesser oder der Dicke $d = 3{,}2$ entsprechende angesehen wird.

Je gröfser k in den zulässigen Grenzen bemessen wird, um so kleiner werden die die Gröfse der Maschine bestimmenden Dimensionen der Induktormagnete, je kleiner k bemessen wird, um so gröfser und teurer wird die Maschine.

Bei Anwendung runden Drahtes ist der totale Wickelraum ausgedrückt mit $k \cdot k \cdot l$, während der kupfererfüllte Wickelraum gleich ist

$$q \cdot l = \frac{d^2\,\pi}{4} \cdot l.$$

Bei Anwendung von Kupferband ist die Grenze für die Breite b des Bandes durch die Möglichkeit, dasselbe zweckmäfsig aufzuwickeln, und durch die Notwendigkeit der Vermeidung von Wirbelströmen gesteckt. Der totale Wickelraum ist dann ausgedrückt mit $k \cdot u \cdot l$ und der kupfererfüllte Wickelraum mit $d \cdot b \cdot l = q \cdot l$.

5. **Das Verhältnis J und die Eisenkerndimensionen des induzierten Ringes.** Weiter wird die Bestimmung getroffen, dafs der kupfererfüllte Wickelraum zum Volumen des bewickelten Eisenkernes, welches letztere bezeichnet ist mit dem Produkte vom Querschnitte $\varrho \cdot \lambda$ und der Länge m, sich verhalte wie die folgende Gl. (10) bestimmt

$$J = \frac{q \cdot l}{\lambda \cdot \varrho \cdot m} = 0{,}075 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Die Dimension ϱ mufs aber in engem Zusammenhange stehen mit der Draht- oder Banddicke d, indem eine Dimension des Eisenkernquerschnittes wachsen mufs mit der entsprechenden Dimension des Wickelungsraumes, oder die Eisenmasse mit der Stromstärke.

Für Kupferband von quadratischem oder rechteckigen Querschnitte mit der Dicke d werde in den nachfolgenden Rechnungen eine Dimension von ϱ angenommen, die der Gl. (11) entspricht

$$\varrho = 20\,d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Runder Draht von gleicher Dicke wird nur

$$\varrho = 16\,d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

erfordern, weil der Kupferquerschnitt und darum auch die geführte Stromstärke nur $\frac{3{,}14}{4}$, also ungefähr $^3/_4$ der im rechteckigen Querschnitte geführten beträgt.

In der Gl. (10) sind nur λ und m noch unbekannt. Wird die Breite in dieser Gleichung gleich der Magnetlänge m gesetzt, so ergibt sich für m ein Wert, der ein mittlerer genannt werden kann, insofern die Dimension m weder besonders grofs noch besonders klein gegenüber λ sich ergibt. Es ist demnach ein angenäherter Wert von m zu finden aus der umgestalteten Gl. (10)

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

und dieser Wert von m soll die endgültige Bestimmung des Wertes m erleichtern. Die Magnetlänge m ist zu wählen und dabei zu beachten, dafs je gröfser m genommen wird, desto kleiner die Magnetbreite λ in der Achsrichtung der Maschine wird, dafs in gewifsem Verhältnisse zu m auch der Preis der Maschine und die Umfangsgeschwindigkeit v wächst. Nach Annahme der Gleichung (1) soll v das Hundertfache von m betragen. Im Interesse einer soliden und gediegenen Konstruktion soll in den folgenden Rechnungen die Geschwindigkeit v die Grenze von 18—19 m nicht überschreiten, womit gleichzeitig die Magnetlänge m mit 180—190 mm begrenzt ist. Die Magnetlänge m soll klein gewählt werden. Je gröfser m, desto mehr Draht der Induktorwickelung liegt aufserhalb der direkten magnetischen Einwirkung. In dem nicht induzierten Drahte eilt der Strom den Stromabgebern zu und verliert durch Überwindung des Leitungswiderstandes an Spannung ohne jedes Äquivalent als eine nutzlose ja schädliche Erwärmung; derselbe stellt daher einen nutzlosen, verlustbringenden, im Stromkreise eingeschlossenen Widerstand dar. Die Stromsammler können bei solchen mit übergrofser Magnetlänge m versehenen Maschinen vor- und rückwärts gedreht werden (an zweipoligen bestehenden Ausführungen um 45 °), ohne dafs sich die Art des Funktionierens der Maschine ändert, obwohl die Induktorpole ganz unzweckmäfsig verschoben sind. Bei einer richtig bezüglich der Magnetlänge m bemessenen Maschine dürfen die Strom-

abnehmer nur wenig vor oder rückwärts zu drehen sein; der ganze Induktordraht liegt alsdann im wirkungsvollen Bereiche des induzierenden Magnetes und beim Verschieben der Stromsammler ändert sich die Art des Funktionierens der Maschine wesentlich. Der Anwendung kurzer Magnete für Wechselstrom steht natürlich auch nichts im Wege, im Gegenteile führt derartige Dimensionierung des Maschinenelementes m zu kleinen Maschinen. Bei den vorstehenden Erörterungen ist die schematische Darstellung einer Maschine im Auge behalten worden, wie dieselbe auf Seite 1 zu finden ist.

Ist unter Beobachtung der angedeuteten Rücksichten m gewählt, so ergibt sich die Anzahl w der Draht- oder Bandwindungen, die auf der Magnetlänge m nebeneinander aufgebracht werden können, wie folgt.

Der mittlere Induktordurchmesser D folgt aus der Gleichung

$$D = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot n} = \frac{P \cdot m}{\pi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Damit wird die der Maschinenachse zugekehrte Länge von m

$$\frac{(D - \varrho - 2)\,\pi}{P},$$

wenn vor Aufbringung der Wickelung auf dem Eisenkern allerseits eine Isolationsschicht von 1 mm Dicke aufgetragen wird. Zur Befestigung des Induktors auf der Achse sind Speichen nötig, die von jedem Magnete f mm seiner Länge Abzug für ihre peripherische Breite beanspruchen. Die freie Wickelfläche des Magnetes ist demnach

$$\frac{(D - \varrho - 2)\,\pi}{P} - f.$$

Wird diese Gröfse durch k bei Anwendung von Draht und durch u bei Anwendung von Band zur Bewickelung dividiert, so ergibt sich die Anzahl w der Windungen, die nebeneinander aufgebracht werden können.

$$\frac{\dfrac{(D - \varrho - 2)\,\pi}{P} - f}{k \text{ bez. } u} = w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{k \cdot P} \quad . \quad (15)$$

Die mittlere Länge einer aufgebrachten Windung bei Berücksichtigung der Isolation ist

$$= 2\,\lambda + 2\,\varrho + 4\,k + 8$$

und diese Windungslänge multipliziert mit der Windungszahl w ergibt die Länge l, also

$$l = w\ (2\,\lambda + 2\,\varrho + 4\,k + 8).$$

In dieser Gleichung ist nur λ die Induktorkernbreite unbekannt, sie kann darum daraus berechnet werden

$$\lambda = \frac{9}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Die mittlere Umfangsgeschwindigkeit des Induktors ist durch Gl. (1) bestimmt

$$v = 100\,m.$$

Es bleibt noch s, die Zahl der Spulen, festzusetzen, in welche die Länge l zwecks Anschlusses an Kollektorlamellen eingeteilt werden soll und sei dieselbe mindestens gleich 6. Im Übrigen werde die Zahl durch die Annahme bestimmt, dafs eine gewisse Maximalspannung zwischen zwei benachbarten Kollektorlamellen zulässig ist.

Die zwischen zwei benachbarten Lamellen wohnende Spannung ist demnach $= \frac{V}{s}$ und es werde angenommen, dafs diese für verschiedene Ausführungen verschiedene Spannung in folgenden Rechnungen höchstens 5 Volt betrage. Dabei dient die Annahme nur zur Gewinnung von wirklichen Werten bei den berechneten Beispielen, ohne Anspruch auf bedingungslose Richtigkeit zu machen.

$$s = \frac{V}{5} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

welches Resultat naturgemäfs so abzurunden ist, dafs die Windungszahl w durch s teilbar ist.

6. Das Verhältnis J^h. Mithin sind alle Induktormafse ausnahmslos gefunden, und es bedarf nur noch der Kontrolle, welches endgiltig der Werth von J geworden ist mit den gewählten Dimensionen. Den Wert 0,075 soll Gl. (10) möglichst genau ergeben oder einen kleineren und soll der wirkliche Wert von J Unterlage bilden zur Dimensionierung des induzierenden Ringes im Sinne folgender Überlegung.

Wenn die stillstehende Maschine betrachtet wird und wenn durch den Draht l bei der vorgesehenen Anordnung die Stromstärke a unter Aufwendung der Spannung $V \cdot \frac{m}{v}$ fliefst, so wird im Eisenkerne ein gewisser Magnetismus hervorgerufen. Umgekehrt wird sich die Spannung $V \cdot \frac{m}{v}$ und die Stromstärke a entwickeln bei richtig bemessenem Aufsenwiderstand, wenn derselbe Magnetismus dem Eisenkerne zugeführt wird. Für diesen Magnetismus ist die Gröfse J charakteristisch, da sie das Verhältnis zwischen dem kupfererfüllten Wickelungsraume oder bei den aufgeführten Bedingungen das Verhältnis einer elektrischen Arbeit zu einem Eisenkerne

und damit den Wert der Magnetisierung der einzelnen Eisenteile durch den Arbeitsaufwand bestimmt. Dabei gilt als Voraussetzung, dafs bei den bedingten Mafsnahmen und der Wahl von m eine Anordnung des Wickelraumes gegenüber dem Eisenkerne erzielt werde, die möglichst günstige Ausnutzung der elektrischen Arbeit zur Folge habe.

Um dem stromlosen Induktormagnete den durch J charakterisierten Magnetismus zuzuführen, der an den Enden der Länge l des Bewickelungsdrahtes die Spannung $V \cdot \frac{m}{v}$ verfügbar macht, ist auf dem induzierenden Magnete ein Verhältnis J^h zwischen Wickelraum oder elektrischer Arbeit und dem Volumen des Eisenkernes notwendig, welches gröfser als J ist. Wie viel J^h gröfser werden mufs als J, hängt wesentlich von der Entfernung zwischen dem Eisen der beiden Magnetringe ab. Je kleiner die radiale Dimension des Wickelraumes k und der freie Spielraum zwischen Aufseninduktor und Polschuh, desto geringer wird der Unterschied zwischen J und J^h sein können, desto gröfser werden die Magnetlänge m und die Magnetbreite λ, desto gröfser und teurer wird die Maschine und desto besser ist dieselbe. Weil es aber nicht der Zweck dieses Buches ist, genaue Zahlen zu ermitteln, werde unter allen Umständen gesetzt, dafs, um J auf dem stromlosen induzierten Magnete zu erzeugen, auf dem induzierenden das Verhältnis $= 1{,}2\,J$ notwendig sei. Wird die Länge l des Bewickelungsdrahtes durchflossen von der höchst zulässigen Stromstärke a, so ist das gleichbedeutend, als hätte der induzierte Magnet nochmals den Magnetismus J erhalten. Um denselben unschädlich zu machen oder aufzuheben, werde den induzierenden Magneten nochmals ein Magnetismus $1{,}2\,J$ erteilt. Darnach ist zu setzen

$$J^h = 2 \cdot 1{,}2\,J = 2{,}4\,J \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

und es erhält damit jeder induzierende Magnet bei jeder Stromleistung der Maschine einen Überschufs an Magnetismus dem induzierten gegenüber, der proportional ist 1,2 mal dem Verhältnisse der jeweils geleisteten elektrischen Arbeit zum Eisenvolumen.

Bei höchster Stromleistung der Maschine hebt einmal der Magnetismus $1{,}2\,J$ des induzierenden Magnetes den Magnetismus J auf, der durch die Stromstärke a hervorgerufen wird im induzierten Magnete; das zweite Mal $1{,}2\,J$ des induzierenden Magnetes überträgt einen Magnetismus J auf den Induktormagneten, der an den Enden von l die Spannung $V \cdot \frac{m}{v}$ verfügbar macht. Die Spannung wird

bei der bestehenden Stromstärke durch den Antrieb des Induktors, also durch Arbeitsaufwand mit der Zahl der Polwechsel $\frac{v}{m}$ multipliziert oder mit der Relativgeschwindigkeit, um verfügbar zu machen die elektrische Arbeit des bewegten Induktormagnetes

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} \cdot \frac{v}{m} = a\,V.$$

7. **Die Eisendimensionen des induzierenden Ringes.** In Rücksicht auf Gl. (18) sind die Dimensionen des induzierenden Magnetringes zu ermitteln.

Der mittlere Durchmesser D' des induzierenden Magnetringes ist die Summe von

D	dem mittleren Induktordurchmesser;
$+ \varrho$	der radialen Eisenkerndicke des Induktors;
$+ 2$	der doppelten Dicke der Isolation;
$+ 2\,k$	der doppelten radialen Höhe des Wickelraumes;
$+ 2$ mal	der Spielraum zwischen Induktorbewickelung und Polschuh-Innenfläche, der je nach Gröſse und vollkommener Ausführung zwischen 2 und 8 mm gewählt werde;
$+ 2$ mal	das Überstehen der Polschuhe über den inneren Ring des induzierenden Eisenkernes um eine für jede Maschine besonders zu bestimmende Länge, die zwischen 5 und ca. 25 mm beträgt;
$+ \varrho'$	der radialen Eisenkerndicke des induzierenden Ringes.

Der massiv eiserne Kern der induzierenden Magnete soll dieselbe radiale Dicke ϱ und dieselbe Breite λ erhalten, die der induzierte Magnetring besitzt. Also

$$\varrho' = \varrho \text{ und } \lambda' = \lambda,$$

womit die Annahme ausgesprochen ist, daſs der induzierende dermaſsen bestimmte Eisenkern fähig sein soll, den mit $2{,}4\,J$ bestimmten Magnetismus aufzunehmen.

Wird weiter festgesetzt, daſs die peripherische Polschuhlänge

$$p' = \varrho' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

werden soll, so folgt die Magnetlänge m'

$$m' = \frac{D'\,\pi}{P} - p' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

Wird hierin m' gröſser als m, so ist p' zu vergröſsern, so daſs

$$m' - p' = m.$$

8. **Die Bewickelung des induzierenden Ringes.** In der Gleichung

$$J^h = \frac{q^h \cdot l^h}{\varrho' \cdot m' \cdot \lambda'} = 2{,}4\,J \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

ist nur l^h unbekannt, denn auch q^h ergibt sich aus

$$q^h = 0{,}4\, a^h,$$

und a^h ist $= a$ oder zweckentsprechend in Rücksicht auf die Magnetschaltung anzunehmen. Es ist also

$$l^h = \frac{2{,}4\, J \cdot \varrho' \cdot m' \cdot \lambda'}{q^h} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

Hieraus folgt die Zahl der Windungen

$$w^h = \frac{l^h}{2\varrho' + 2\lambda' + 4k^h + 8} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

welche festzuhalten ist, und nach welcher sich in Berücksichtigung der Längenzunahme einer Windung bei der zweiten oder dritten Lage die Länge l^h endgültig berechnen läfst.

9. **Das elektrische Güteverhältnis.** Das elektrische Güteverhältnis einer derartig berechneten Maschine, das Verhältnis des an den Maschinenklemmen verfügbaren elektrischen Effektes zum gesamten erzeugten elektrischen Effekte bestimmt sich, wie folgt.

Der Spannungsverlust in der Bewickelung eines Induktormagnetes ist bei höchster Belastung durch die Stromstärke a proportional dieser Stromstärke und dem Widerstande. Der Widerstand ist

$$= \frac{l}{q\ \ 60000},$$

demnach der Spannungsverlust

$$= \frac{a \cdot l}{q \cdot 60000}, \text{ der mit } \frac{a}{q} = 2{,}5 \text{ wird}$$

$$= \frac{l}{24000}.$$

Der Verlust an elektrischem Effekte in einem Induktormagnete ist demnach

$$= \frac{a \cdot l}{24000},$$

und in allen parallel geschalteten Induktormagneten zusammen

$$= \frac{P \cdot a \cdot l}{24000}.$$

In jedem induzierenden Magnete beträgt der Spannungsverlust

$$\frac{l^h}{24000},$$

und in jedem induzierenden Magnete der Effektverlust

$$\frac{a^h \cdot l^h}{24000},$$

welcher sich für alle parallel geschalteten induzierenden Magnete zusammen darstellen läfst durch

$$\frac{P \cdot a^h \cdot l^h}{24000}.$$

Der an den Bürsten mefsbare Effekt der Maschine ist

$$A \cdot V = \frac{P \cdot a \cdot L}{24000},$$

der an den Maschinenklemmen verfügbare Effekt der Maschine ist

$$= \frac{P \cdot a \cdot L}{24000} - \frac{P \cdot a^h \cdot l^h}{24000},$$

der totale erzeugte Effekt ist

$$= \frac{P \cdot a \cdot L}{24000} + \frac{P \cdot a \cdot l}{24000}.$$

Das Verhältnis des verfügbaren Effektes zum totalen erzeugten gestaltet sich

$$= \frac{a \cdot L - a^h \cdot l^h}{a \cdot L + a \cdot l} = \frac{a \cdot L - a^h \cdot l^h}{a\,(L + l)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

welcher Wert für $a^h = a$ wird

$$= \frac{a\,(L - l^h)}{a\,(L + l)} = \frac{L - l^h}{L + l}.$$

II. Abschnitt.

Erläuterungen und Beispiele.

A. Hauptschlufsmaschinen.

1. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 10$, die Stromstärke $A = 12$ und die Umdrehungszahl $n = 250$

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{250} = 24.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich $a = \frac{A}{P} = \frac{12}{24} = 0{,}5.$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 0{,}5 \cdot 10 \cdot 0{,}01 = 0{,}05.$$

Aus Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 10 = 240000,$$

und aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum maſsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot V = 240 \cdot 10 = 2400.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum maſsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4\, a = 0{,}4 \cdot 0{,}5 = 0{,}2,$$

und der entsprechende Durchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 0{,}5} = 0{,}5,$$

wonach die Drahtdicke einschlieſslich Isolation k zu 1,0 angenommen werde.

Gl. (12) bestimmt den Wert der radialen Eisenkerndicke ϱ

$$\varrho = 16\, d = 16 \cdot 0{,}5 = 8.$$

Nach Gl. (13) ergibt sich ein Mittelwert für die Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{0{,}2 \cdot 2400}{8 \cdot 0{,}075}} = 28{,}3.$$

Demnach werde m gewählt $m = 9\,\pi = 28{,}26$, so daſs sich der Durchmesser D nach Gl. (14) ergibt

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{24 \cdot 9 \cdot \pi}{\pi} = 216.$$

Die Windungszahl w ergibt sich nach Gl. (15) mit $f = 1$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{k \cdot P} = \frac{(216 - 8 - 2)\,3{,}14 - 24 \cdot 1}{1{,}24} = \sim 25,$$

und die Induktorkernbreite λ nach Gl. (11)

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{2400}{50} - 8 - 2 - 4 = 34.$$

Aus Gl. (11) folgt noch die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v

$$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 28{,}26 = 2826.$$

Die Länge l bezw. die 25 Windungen mögen in 5 Spulen von je 4 Windungen eingeteilt werden, da die Maschine so klein ist, daſs sich nach den durch Gl. (17) dargestellten Annahmen kein brauchbares Resultat für s ergibt

$$s = 5.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten geworden nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{\lambda \cdot \varrho \cdot m} = \frac{0{,}2 \cdot 2400}{34 \cdot 8 \cdot 28{,}26} = 0{,}062,$$

so daſs nach Gl.

$$J^h\ 2{,}4 \cdot J = 2{,}4 \cdot 0{,}62 = 0{,}149.$$

Nun ist der mittlere Durchmesser $D = 216$ gewesen, also der äuſserste Durchmesser des Induktors einschlieſslich Bewickelung ergibt sich

D = mittlerer Durchmesser . . . . . = 216
$+ \varrho$ = radiale Eisenkerndimension . . . = + 8
$+ 2$ = für Isolation des Eisenkerns . . . = + 2
$+ 2k$ = Drahtdicken einschliefslich Isolation = + 2
zu 228,

so dafs bei 3 mm radialem Spielraum die Bohrung der Polschuhflächen werden mufs

$$= 234$$

und bei 10 mm vorstehenden Polschuh über den inneren Eisenkern und der radialen Dicke $\varrho' = \varrho = 8$ des induzierenden Eisenkernes der mittlere Durchmesser des letzteren

$$D' = 234 + 20 + 8 = 262.$$

Weil die peripherische Polschuhlänge $p' = \varrho'$ werden soll, so folgt die Magnetlänge m' aus Gl. (20)

$$m' = \frac{D' \pi}{P} - \varrho' = \frac{262 \cdot \pi}{24} - 8 = 34{,}3 - 8 = 26{,}3.$$

Da der Querschnitt $q^h = 0{,}4$ $a^h = 0{,}4 \cdot 0{,}5 = 0{,}2$ ist, so folgt aus der Gl. (22) der Wert für

$$l^h = \frac{J^h \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{q^h} \quad l^h = \frac{0{,}149 \,.\, 8 \cdot 26{,}3 \cdot 34}{0{,}2} = \sim 5604.$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\,\varrho' + 2\,\lambda' + 4\,k^h + 8} = \frac{5604}{16 + 68 + 4 + 8} = \frac{5604}{96} = 59$$

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{a\,L - a^h\,l^h}{a\,(L + l)} = \frac{0{,}5 \cdot 240000 - 0{,}5 \cdot 5600}{0{,}5\,(240000 + 5600)} = 0{,}95.$$

2. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 10$, die Stromstärke $A = 12$ und die Umdrehungszahl $n = 1000$

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (1) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{1000} = 6$$

Aus Gl. (3) ergibt sich $a = \frac{A}{P} = \frac{12}{6} = 2$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 2 \cdot 10 \quad 0{,}01 = 0{,}2.$$

Aus Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot V = 24000 \cdot 10 = 240000$$

und aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum maſsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot V = 240 \cdot 10 = 2400.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum maſsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \quad a = 0{,}4 \cdot 2 = 0{,}8$$

und der entsprechende Durchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 2} = 1,$$

somit ist die Drahtdicke einschlieſslich der Isolation anzunehmen zu

$$k = 1{,}7.$$

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ

$$\varrho = 16 \quad d = 16 \cdot 1 = 16$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{08 \cdot 2400}{16 \cdot 0{,}075}} = 40.$$

Um einen Induktor mit kleinem Durchmesser zu erhalten, werde m gewählt mit

$$m = 14 \cdot \pi = 44,$$

so daſs sich der Durchmesser D nach Gl. (14) ergibt

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{6 \cdot 14\,\pi}{\pi} = 84.$$

Die Windungszahl w ergibt sich nach Gl. (15) mit $f = 2$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{k \cdot P} = \frac{(84 - 16 - 2)\,3{,}14 - 6{,}2}{1{,}7 \cdot 6} = \backsim 18$$

und die Induktorbreite λ nach Gl. (16)

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{2400}{36} - 16 - 3{,}4 - 4 = 44.$$

Aus Gl. (1) folgt noch die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v

$$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 44 = 4400.$$

Die Länge l bezw. die 18 Windungen mögen in 6 Spulen von je 3 Windungen eingeteilt werden, da die Maschine so klein ist, daſs sich nach den durch Gl. (17) dargestellten Annahmen kein brauchbares Resultat für s ergibt

$$s = 6.$$

Das Verhältnis J wurde mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{0{,}8 \cdot 2400}{44 \cdot 16 \cdot 44} = 0{,}062.$$

Nach Gleichung (24) muſs für den induzierenden Magnet sein

$$J^h = 2{,}4\,J = 2{,}4 \cdot 0{,}062 = 0{,}149.$$

Der mittlere Durchmesser D war $= 84$, also ist der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung =

D	= mittlerer Durchmesser	84
$+ \varrho$	= radikale Eisenkerndimension	16
$+ 2$	für Isolation des Eisenkernes	2
$+ 2k = 3{,}4$	= 2 Drahtdicken einschliefslich Isolation	3,4
		$= 105{,}4,$

so dafs bei 2,3 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$110{,}0$$

und bei 10 mm vorstehendem Polschuh über dem inneren Eisenkern und der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 16$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 110 + 20 + 16 = 146$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit

$$p' = 32,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D'\pi}{P} - p' = \frac{146 \cdot 3{,}14}{6} - 32 = 44.$$

Da der Querschnitt $q^h = 0{,}4 \quad a^h = 0{,}4 \cdot 2 = 0{,}8$ ist, so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$l^h = \frac{J^h \cdot \varrho' \cdot m' \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}149 \cdot 16 \cdot 44 \cdot 44}{0{,}8} = 5808.$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\varrho' + 2\lambda' + 4k^h + 8} = \frac{5808}{32 + 88 + 6{,}8 + 8} = 43.$$

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{240000 - 5800}{240000 + 2400} = 0{,}97.$$

3. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$, die Stromstärke $A = 100$ und die Umdrehungszahl $n = 125$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{125} = 48.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich $a = \frac{A}{P} = \frac{100}{48} = 2{,}08.$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 2{,}08 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 2{,}08.$$

Aus Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 100 = 2400000.$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 100 = 24000.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 2{,}08 = 0{,}832$$

und der entsprechende Drahtdurchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 2{,}08} = 1,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu

$$k = 1{,}7.$$

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ

$$\varrho = 16\, d = 16 \cdot 1 = 16$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{0{,}8 \cdot 24000}{16 \cdot 0{,}075}} = \sim 127.$$

Es werde gewählt $m = 42 \cdot \pi = 132{,}0$, um den mittleren Wert von m angenähert beizubehalten, so dafs sich der Durchmesser D nach Gl. (14) ermitteln läfst

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{48 \cdot 42\, \pi}{\pi} = 2016.$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 5$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\, \pi - P \cdot f}{P \cdot k} = \frac{(2016 - 16 - 2) \cdot 3{,}14 - 48 \cdot 5 = 72}{48 \cdot 1{,}7}$$

und Gl. (16) die Induktorbreite

$$\lambda = \frac{l}{2\, w} - \varrho - 2\, k - 4 = \frac{24000}{144} - 16 - 3{,}4 - 4 = 167 - 23{,}4 = 144,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100\, m = 100 \cdot 132 = 13200.$$

Die Länge l bezw. die 72 Windungen ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = 20$$

Spulen jedoch soll in Rücksicht auf die Windungszahl ausgeführt werden

$$s = 18.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{\varrho \cdot \lambda \cdot m} = \frac{0{,}8 \cdot 24000}{16 \cdot 144 \cdot 132} = 0{,}063.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^h = 2{,}4\,J = 2{,}4 \cdot 0{,}063 = 0{,}151.$$

Der mittlere Induktordurchmesser D war $= 2016$, also ist der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung =

D	= mittlerer Induktordurchmesser	2016
$+\varrho$	= radiale Eisenkerndimension	16
$+2$	für Isolation des Eisenkernes	2
$+2k$	= 3,4 = 2 Drahtdicken einschliefslich der Isolation	3,4,
		= 2037,4.

so dafs bei 5 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

2047,

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 16$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 2047 + 40 + 16 = 2103.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit

$$p' = 32,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D' \cdot \pi}{P} - p' = \frac{2083 \cdot \pi}{48} - 32 = 106.$$

Da der Querschnitt $q^h = q = 0{,}4\,a^h = 0{,}4 \cdot 2 = 0{,}8$ ist, so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$l^h = \frac{J^h \cdot \varrho' \cdot m' \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}151 \cdot 16 \cdot 106 \cdot 144}{0{,}8} = 45800;$$

mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\varrho' + 2\lambda' + 4k + 8} = \frac{45800}{32 + 280 + 6{,}8 + 8} = 137.$$

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{2400000 - 45800}{2400000 + 24000} = \frac{23542}{24240} = 0{,}97.$$

4. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$; die Stromstärke $A = 100$ und die Umdrehungszahl $n = 250$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{250} = 24.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{100}{24} = 4{,}16.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 4{,}16 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 4{,}16.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 100 = 24000.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4\, a = 0{,}4 \cdot 4{,}16 = 1{,}66,$$

und der entsprechende Drahtdurchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5\, a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 4{,}17} = 1{,}44,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu

$$k = 2{,}2.$$

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ

$$\varrho = 16\, d = 16 \cdot 1{,}44 = 23.$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{1{,}66 \cdot 24000}{23 \cdot 0{,}075}} = 152.$$

Es werde gewählt $m = 50 \cdot \pi = 157$, um den mittleren Wert angenähert beizubehalten, so dafs sich der mittlere Induktordurchmesser D nach Gl. (14) ermitteln läfst

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{24 \cdot 50 \cdot \pi}{\pi} = 1200$$

und die Windungszahl w nach Gl. (15) mit $f = 6$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{k \cdot P} = 70.$$

Gl. (16) ergibt die Induktorbreite λ

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{24000}{140} - 23 - 4{,}4 - 4 = 140,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100\, m = 100 \cdot 157 = 15700.$$

Die Länge l, bezw. die 70 Windungen, ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = \frac{100}{5} = 20,$$

also 20 Spulen, jedoch sollen zur Ausführung kommen 14 Spulen von je 3 Windungen und 14 Spulen von je 2 Windungen, so dafs

stets eine Spule von 3 Windungen zwischen 2 Spulen von je 2 Windungen liegt und umgekehrt.

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten geworden nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot \lambda}{\varrho \cdot \lambda \cdot m} = \frac{1{,}66 \cdot 24000}{23 \cdot 140 \cdot 157} = 0{,}079.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^h = 2{,}4\, J = 2{,}4 \cdot 0{,}079 = 0{,}1896 = \sim 0{,}190.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 1200
$+\varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 23
$+2$	= der Isolation des Eisenkernes	= 2
$+2k$	= 4,4 = 2 Drahtdicken einschliefslich der Isolation	= 4,4
		ist also 1229,4

so dafs bei 5,3 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$1229{,}4 + 10{,}6 = 1240{,}0$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 23$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 1240 + 40 + 23 = 1303.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit

$$p' = 37,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D'\,\pi}{P} - p' = \frac{1303 \cdot 3{,}14}{24} - 37 = 134.$$

Da der Kupferquerschnitt $q^h = 0{,}4\, a^h = 0{,}4\, a = q = 1{,}66$, so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$l^h = \frac{J^h\, \varrho'\, m'\, \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}190 \cdot 23 \cdot 134 \cdot 140}{1{,}66} = 50920,$$

mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\varrho' + 2\lambda' + 4k^h + 8} = \frac{51000}{46 + 280 + 8{,}8 + 8} = \sim 150.$$

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{2400000 - 51000}{2400000 + 24000} = 0{,}97.$$

5. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$, die Stromstärke $A = 100$ und die Umdrehungszahl $n = 500$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{500} = 12.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{100}{12} = 8{,}33.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 8{,}33 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 8{,}33.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 100 = 24000.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 8{,}33 = 3{,}33 = \sim 3{,}14$$

und der entsprechende Drahtdurchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 8{,}33} = \sim 2,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu

$$k = 2{,}8.$$

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke

$$\varrho = 16 \cdot d = 16 \cdot 2 = 32$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{q \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{3{,}14 \cdot 24000}{32 \cdot 0{,}075}} = \sim 177.$$

Es werde gewählt $m = 57 \cdot \pi = 179{,}1$, um den mittleren Wert angenähert beizubehalten, so dafs sich der Durchmesser nach Gl. (14) ermitteln läfst

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{12 \cdot 57 \cdot \pi}{\pi} = 684;$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 8$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{k \cdot P} = \frac{(684 - 32 - 2)\,3{,}14 - 12 \cdot 8}{2{,}8 \cdot 12} = 57$$

und Gl. (16) die Induktorbreite λ

$$\lambda = \frac{l}{2w} - \varrho - 2k - 4 = \frac{24000}{114} - 32 - 5{,}6 - 4 = 170,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot 179{,}1 = 17910.$$

Die Länge l, bezw. die 57 Windungen, ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = \frac{100}{5} = 20,$$

also 20 Spulen, jedoch soll zur Ausführung kommen

$$s = 19.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten geworden nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \lambda \cdot \varrho} = \frac{3{,}14 \cdot 24000}{179{,}1 \cdot 170{,}32} = 0{,}077.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^h = 2{,}4\, J = 2{,}4 \cdot 0{,}077 = 0{,}185.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 684
$+\varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 32
$+2$	= der Isolation des Eisenkernes	= 2
$+2k$	= 5,6 = der doppelten Drahtdicke einschliefslich der Isolation	= 5,6
	ist also	= 723,6,

so dafs bei 5,2 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$723{,}6 + 10{,}4 = 734$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 32$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 734 + 40 + 32 = 806.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit

$$p' = 51,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D' \cdot \pi}{P} - p' = \frac{806 \cdot \pi}{12} - 51 = 160.$$

Da der Kupferquerschnitt

$$q^h = 0{,}4\, a^h = 0{,}4\, a = q = 3{,}14,$$

so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$l^h = \frac{J^h \cdot \varrho' \cdot m' \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}185 \cdot 32 \cdot 160 \cdot 170}{3{,}14} = 55500.$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\varrho' + 2\lambda' + 4k + 8} = \frac{55500}{64 + 340 + 11{,}2 + 8} = 132.$$

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{2400000 - 55500}{2400000 - 24000} = \frac{23445}{24240} = 0{,}96.$$

6. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$; die Stromstärke $A = 100$ und die Umdrehungszahl $n = 1000$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{1000} = 6.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{100}{6} = 16{,}66.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 16{,}66 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 16{,}66.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 100 = 24000.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 16{,}66 = 6{,}67 \sim 6{,}6$$

und der entsprechende Durchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 16{,}67} = 2{,}9,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu $k = 3{,}7$.

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke $\varrho = 16\,d = 16 \cdot 2{,}9 = 46$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{6{,}6 \cdot 24000}{46 \cdot 0{,}075}} = 215.$$

Es werde gewählt $m = 60\,\pi = 188{,}4$, wobei das höchste zulässige Mafs von v erreicht wird, so dafs sich der Durchmesser D nach Gl. (14) ermitteln läfst

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{6 \cdot 60 \cdot \pi}{\pi} = 360.$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 12$

$$\mathrm{w} = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P f}{P \cdot k} = \frac{(360 - 46 - 2)\ 3{,}14 - 6 \cdot 12}{6 \cdot 3{,}7} = 40$$

und Gl. (16) ergibt die Induktorbreite λ

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{24000}{80} - 46 - 7{,}4 - 4 = 243,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot 188{,}4 = 18840.$$

Die Länge l bezw. die 40 Windungen ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = \frac{100}{5} = 20,$$

also 20 Spulen, und es soll diese Anzahl auch zur Ausführung kommen.

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten geworden nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{6{,}6 \cdot 24000}{188{,}4 \cdot 46 \cdot 243} = 0{,}075.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^h = 2{,}4\ J = 2{,}4 \cdot 0{,}075 = 0{,}180.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 360
$+ \varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 46
$+ 2$	= der Isolation des Eisenkernes	= 2
$+ 2\,k = 7{,}4$	= 2 Drahtdicken einschliefslich der Isolation	= 7,4
	ist also	= 415,4,

so dafs bei 5,3 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$415{,}4 + 10{,}6 = 426$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 46$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 426 + 40 + 46 = 512.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt in diesem Falle mit

$$p' = 80{,}5,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D' \pi}{P} - p' = \frac{512 \cdot 3{,}14}{6} - 80 = 188{,}0.$$

Da der Kupferquerschnitt

$$q^h = 0{,}4\, a^h = 0{,}4\, a = q = 6{,}6,$$

so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$l^h = \frac{J^h \cdot \varrho' \cdot m' \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}180 \cdot 46 \cdot 188 \cdot 243}{6{,}6} = 58000.$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\,\varrho' + 2\,\lambda' + 4\,k^h + 8} = \frac{58000}{92 + 486 + 14{,}8 + 8} = 97.$$

Das Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{2400000 - 58000}{2400000 + 24000} = 0{,}97.$$

7. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$, die Stromstärke $A = 1000$ und die Umdrehungszahl $n = 125$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{125} = 48.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{1000}{48} = 20{,}8.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \quad V \cdot \frac{m}{v} = 20{,}8 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 20{,}8.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 100 = 24000.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4\, a = 0{,}4 \cdot 20{,}8 = 8{,}32 = \sim 8{,}04,$$

und der entsprechende Durchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 20{,}8} = \sim 3{,}2,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu

$$k = 4{,}0.$$

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke

$$\varrho = 16\,d = 16 \cdot 3{,}2 = 51$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{8{,}04 \cdot 24000}{51 \cdot 0{,}075}} = \sim 225.$$

Es werde gewählt $m = 40\,\pi = 125{,}6$, um einen kleinen Durchmesser und kleine Umfangsgeschwindigkeit zu erhalten.

Nach Gl. (14) läfst sich der Durchmesser D des Induktors ermitteln

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{48 \cdot 40 \cdot \pi}{\pi} = 1920.$$

Gl. (15) ergibt mit $f = 7$ die Windungszahl w

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - f \cdot P}{P \cdot k} = \frac{(1920 - 51 - 2)\,3{,}14 - 7 \cdot 48}{4 \cdot 48} = 28,$$

und Gl. (16) die Induktorbreite λ

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{24000}{56} - 51 - 8 - 4 = 366,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 125{,}6 = 12560.$$

Die Länge l, bezw. die 28 Windungen ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = \frac{100}{5} = 20,$$

also 20 Spulen, jedoch soll zur Ausführung kommen

$$s = 14.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{8{,}04 \cdot 24000}{125{,}6 \cdot 51 \cdot 366} = 0{,}082.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^h = 2{,}4\,J = 2{,}4 \cdot 0{,}082 = 0{,}197.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	1920
$+\varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	51
$+2$	= der Isolation des Eisenkernes	2
$+2\,k = 8$	= der doppelten Drahtdicke einschliefslich der Isolation	8
	ist also =	1981,

so dafs bei 6 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$1981 + 12 = 1993,$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 51$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 1993 + 40 + 51 = 2084.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt in diesem Falle mit

$$p' = 44{,}5,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D' \cdot p}{P} - p' = \frac{2084 \cdot 3{,}14}{48} - 44{,}5 = 92.$$

Da der Kupferquerschnitt

$$q^h = 0{,}4\, a^h = 0{,}4\, a = q = 8{,}04,$$

so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$l^h = \frac{J^h \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}197 \cdot 92 \cdot 51 \cdot 366}{8{,}04} = 41740.$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\varrho' + 2\lambda' + 4k + 8} = \frac{41800}{102 + 732 + 16 + 8} = 49.$$

Das elektrischeGüteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{2400000 - 41800}{2400000 + 24000} = 0{,}97.$$

8. Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$, die Stromstärke $A = 1000$ und die Umdrehungszahl $n = 500$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{\pi} = \frac{6000}{500} = 12.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{1000}{12} = 83{,}33.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnets ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 83{,}33 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 83{,}33.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 100 = 24000.$$

Der Kupferquerschnitt, die andere für den Wickelraum maſsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 83{,}33 = 33{,}33.$$

Weil mit Kupferdraht die gröſste zugelassene Dimension ($k = 4$) des Wickelraums überschritten würde, soll Kupferband zur Verwendung kommen

Wird $$k = 4$$

gesetzt, so folgt als Banddicke

$$d = 3{,}2$$

und als Bandbreite $b = \frac{33{,}33}{3{,}2} = 10{,}4,$

demnach die Breite des Kupferbandes einschlieſslich Isolation

$$n = 11{,}2.$$

Nach Gl. (11) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke bei Anwendung von Kupferband

$$\varrho = 20 \cdot d = 20 \cdot 3{,}2 = 64$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{33{,}33 \cdot 24000}{64 \cdot 0{,}075}} = \sim 408.$$

Es werde gewählt $m = 60 \cdot \pi = 188{,}4$, um die Magnetlänge möglichst groſs und die Breite λ möglichst klein zu machen.

Nach Gl. (14) läſst sich der Induktordurchmesser D ermitteln

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{12 \cdot 60 \cdot \pi}{\pi} = 720.$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 12$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{P \cdot n} = \frac{(720 - 64 - 2)\,3{,}14 - 12 \cdot 12}{12 \cdot 11{,}2} = 14.$$

Gl. (15) ergibt die Induktorbreite λ

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - + = \frac{24000}{28} - 64 - 8 - 4 = 781,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v hervorgeht $$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 188{,}4 = 18840.$$

Die Länge l bezw. die 14 Windungen ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = \frac{100}{5} = 20,$$

also 20 Spulen, jedoch soll zur Ausführung kommen

$$s = 14.$$

Das Verhältnis ist mit den oben bestimmten Werten geworden nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{33{,}33 \cdot 24000}{188{,}4 \cdot 64 \cdot 781} = 0{,}074.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^h = 2{,}4\ J = 2{,}4 \cdot 0{,}074 = 0{,}1776 = \sim 0{,}178.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 720
$+\varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 88
$+2$	= der Isolation des Eisenkerns	= 2
$+2k = 8$	= 2 Banddicken einschliefslich der Isolation	= 8
	ist also	= 818

so dafs bei 6 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$818 + 12 = 830$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 88$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 830 + 40 + 88 = 958.$$

Die peripherische Polschuhlänge werde ausgeführt mit

$$p' = \varrho' = 88,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D'\,\pi}{P} - p' = \frac{958 \cdot 3{,}14}{12} - 88 = 163.$$

Da der Kupferquerschnitt

$$q^h = 0{,}4 \cdot a^h = 0{,}4 \cdot a = q = 33{,}33,$$

so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird,

$$l^h = \frac{J^h \cdot m \cdot \varrho \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}178 \cdot 163 \cdot 88 \cdot 650}{33{,}33} = \sim 49800.$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\,\varrho' + 2\,\lambda + 4\,k + 8} = \sim 34.$$

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (24)

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{2400000 - 50000}{2400000 + 24000} = 0{,}97.$$

Hätte die Maschine unter jeder Bedingung mit Kupferdraht gewickelt werden sollen, so wäre

1. die Möglichkeit gewesen, 5 Maschinen auf gleicher Achse mit gemeinsamem Kollektor herzustellen, jede mit 12 Induktor-

magneten und einer die Bewickelung bestimmenden elektrischen Arbeit des einzelnen Magnets von

$$\frac{a}{5} \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 16{,}67, \text{ oder}$$

2. die Möglichkeit, 1 Maschine mit 5 parallel gewickelten Drähten auf den Induktormagneten, die nebeneinander liegen und dieselben Dimensionen haben wie die bei den 5 Maschinen zur Aufwickelung gebrachten, herzustellen.

Letztere Maschine hätte sich auch aus der 5 teiligen Maschine entwickeln lassen, wenn bei gleicher Magnetlänge m und Magnetdicke ϱ dem Induktor eine Breite gegeben wäre von

$$5\lambda + 4\varrho$$

einer Untermaschine der 5 teiligen Maschine.

Diese letztere Folgerung bestätigt sich in Berücksichtigung der Regel, dafs aus einer Maschine eine andere für y fache Leistung hergestellt werden kann, wenn der neue Induktor die Breite

$$y \cdot \lambda + (y - 1)\varrho$$

der alten Maschine erhält.

B. Nebenschlufsmaschinen.

1. **Bezeichnungen.** Es seien bezeichnet mit

a^n = die durch die Nebenschlufsbewickelung eines induzierenden Magnetes gehende Stromstärke;

l^n = die Länge der auf einem induzierenden Magnete aufgebrachten Nebenschlufswickelung;

d^n = der Durchmesser, q^n = der Querschnitt } des auf einem induzierenden Magnete aufgebrachten Kupferdrahtes der Nebenschlufsbewickelung;

k^n = die Dicke des Kupferdrahtes der Nebenschlufsbewickelung einschliefslich der Isolation;

w^n = die Anzahl der Windungen der Nebenschlufsbewickelung auf einem induzierenden Magnete;

J^n = das Verhältnis des durch die Nebenschlufsbewickelung kupfererfüllten Wickelraumes eines induzierenden Magnetes zum Volumen des überwickelten Eisenkernes.

2. **Der Nebenschlufs.** Die Rechnung für den Induktor der Nebenschlufsmaschinen ist die gleiche wie für den Induktor der Hauptschlufsmaschinen. Wird für die induzierenden Magnete wieder

$$J^n = 2{,}4\, J \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

zur Ausführung gebracht und $\varrho' = \varrho$, sowie $\lambda' = \lambda$ gesetzt, wird weiter bedingt, dafs die Bewickelungen der induzierenden Magnete untereinander parallel geschaltet werden, so lassen sich der Querschnitt q^n und die Länge l^n dieser Bewickelungen ermitteln wie folgt.

An den Enden der Drahtlänge l^n wirkt die Spannung V, und es soll im Drahte die Stromstärke a entstehen, dann mufs der Widerstand sein

$$= \frac{V}{a^n}.$$

Der Widerstand von l^n ist aber auch ausgedrückt durch

$$\frac{l^n}{q^n \cdot 60000}.$$

Werden diese beiden Werte gleichgesetzt, so folgt

$$\frac{V}{a^n} = \frac{l^n}{q^n \cdot 60000},$$

oder auch der Wert

$$l^n = V \cdot \frac{q^n}{a^n} \cdot 60000,$$

welcher mit $\frac{q^n}{a^n} = 0{,}4$ lautet

$$l^n = 24000\ V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Die Länge von l^n mufs also gleich der ideellen Drahtlänge L ausgeführt werden. Mit dieser Länge ergibt sich aus Gl. (22) der Kupferquerschnitt

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{l^n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

und damit aus Gl. (8)

$$a^n = 2{,}5\ q^n,$$

die erforderliche Stromstärke aus dieser d' und k'.

3. **Das elektrische Güteverhältnis** der Maschine bestimmt sich wie folgt.

Der Verlust an elektrischem Effekte in allen Induktormagneten zusammen ist

$$\frac{P \cdot a \cdot l}{24000}.$$

Der Verlust in allen induzierenden Magneten zusammen ist

$$\frac{P \cdot a^n \cdot l^n}{24000}.$$

Der von der Maschine zur Verfügung gegebene elektrische Effekt ist

$$\frac{P \cdot a \cdot L}{24000} - \frac{P \cdot a^n \cdot l^n}{24000},$$

der totale erzeugte Effekt ist

$$\frac{P \cdot a \cdot L}{24000} + \frac{P \cdot a \cdot l}{24000},$$

infolgedessen ist das Verhältnis

$$\frac{\text{verfügbarer Effekt}}{\text{totaler erzeugter Effekt}} = \frac{a \cdot L - a^n \cdot l^n}{a \cdot L + a \cdot l} = \frac{a \cdot L - a^n \cdot l^n}{a\,(L + l)},$$

für $L = l^n$ wird dieser Wert

$$\frac{L\,(a - a^n)}{a\,(L + l)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

4. Zur Berechnung einer Nebenschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 10$, die Stromstärke $A = 1000$ und die Umdrehungszahl $n = 125$

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{125} = 48.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{1000}{48} = 20{,}8.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 20{,}8 \cdot 10 \cdot 0{,}01 = 2{,}08.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Wickelungslänge

$$L = 24000 \cdot V = 240000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot V = 240 \cdot 10 = 2400.$$

Der Kupferquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 20{,}8 = 8{,}32 = \sim 8{,}4.$$

Der diesem Querschnitt entsprechende Kupferdraht würde ein im Verhältnisse zu den übrigen Dimensionen des Wickelraumes unverwertbares k ergeben. Der Induktor werde darum mit 3 parallelen Drähten gewickelt, die gleichzeitig und nebeneinander aufgebracht werden und zusammen den Querschnitt 8,4 besitzen. Jeder der Drähte mufs also den Querschnitt haben

$$q = 2{,}8$$

und den Durchmesser

$$d = 1{,}9,$$

so dafs der Durchmesser einschliefslich Isolation

$$k = 2{,}7.$$

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke $\varrho = 16\,d = 16 \cdot 1{,}9 = 31.$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{8{,}4 \cdot 2400}{31 \cdot 0{,}075}} = \sim 78.$$

Es werde, um einen Vergleich der Maschine zu ermöglichen, mit der im Beispiel 3 Seite 19 f. berechneten Hauptschlufsmaschine gewählt $m = 21\,\tau \cdot = 66,$

so dafs sich nach Gl. (4) der Durchmesser D ermitteln läfst

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi\tau} = \frac{48 \cdot 21 \cdot \pi\tau}{\pi\tau} = 1008.$$

Nach Gl. (15) läfst sich die Zahl der dreifachen Windungen ermitteln mit $f = 3$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi\tau - P \cdot f}{P \cdot 3 \cdot k} = \frac{(1008 - 31 - 2)\,\pi\tau - 48 \cdot 3}{48 \cdot 3 \cdot 2{,}7} = 7{,}5 = \sim 7$$

und Gl. (16) ergibt die Induktorbreite λ

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{2400}{14} - 31 - 5{,}4 - 4 = 171 - 40{,}4 = 130,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 66 = 6600.$$

Die Länge l bezw. die 7 dreifachen Windungen sollen in 7 Spulen eingeteilt werden von je einer dreifachen Windung, da sich nach den durch Gl. (17) dargestellten Annahmen kein brauchbares Resultat für s ergibt

$$s = 7.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (19)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{8{,}4 \cdot 2400}{66 \cdot 31 \cdot 130} = 0{,}075.$$

Nach Gl. (25) mufs für den induzierenden Magneten sein

$$J^n = 2{,}4\ J = 2{,}4 \cdot 0{,}075 = 0{,}18.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 1008
$+ \varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 31
$+ 2$	= der Isolation des Eisenkerns	= 2
$+ 2\,k = 5{,}4$	= 2 Drahtdicken einschliefslich der Isolation	= 5,4
	ist also	= 1046,4,

so dafs bei 5,3 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$1046{,}4 + 10{,}6 = 1057{,}0$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 31$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 1057 + 40 + 31 = 1128.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit

$$p' = \varrho' = 31,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D'\,\pi}{P} - p' = \frac{1128 \cdot 3{,}14}{48} - 30 = 45.$$

Da die Länge l^n nach Gl. (26)

$$l^n = 24000\ V = 240000,$$

so folgt aus Gl. (27) der Wert für q^n, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{l^n} = \frac{0{,}18 \cdot 45 \cdot 31 \cdot 130}{240000} = 0{,}136.$$

Sollen die Bewickelungen der 48 induzierenden Magnete hintereinander geschaltet werden, so müssen dieselben zusammen die Länge $l' = 240000$ haben und den Querschnitt $= 48 \cdot 0{,}136 = 6{,}5$. Dem obigen Werte von q^n entspricht die Stromstärke

$$a^n = 2{,}5\, q^n = 2{,}5 \cdot 0{,}136 = 0{,}34.$$

Das elektrische Güteverhältnis der Maschine ist nach Gl. (28)

$$\frac{L\,(a - a^n)}{a\,(L + l)} = \frac{240000\ (20{,}8 - 0{,}34)}{20{,}8\,(240000 + 2400)} = 0{,}97.$$

Der Vergleich beider Maschinen läfst erkennen, wie sehr mit der radialen Wickelraumhöhe k, die für jede Maschine ganz unterschiedlich bemessen werden kann, der ganze Aufbau einer Maschine veränderlich ist. Natürlich mufs sich bei unterschiedlichem k auch das Verhältnis von J zu J^n ändern, worauf aber hier nicht Rücksicht genommen werden soll.

5. Zur Berechnung einer Nebenschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 10$, die Stromstärke $A = 1000$ und die Umdrehungszahl $n = 250$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{250} = 24.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{1000}{24} = 41{,}7.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 41{,}7 \cdot 10 \cdot 0{,}01 = 4{,}17.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Wickelungslänge

$$L = 24000 \cdot 10 = 240000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 10 = 2400.$$

Der Kupferquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4\, a = 0{,}4 \cdot 41{,}7 = \sim 16{,}8.$$

Weil mit Kupferdraht die gröfste zugelassene Dimension $k = 4$ des Wickelraumes überschritten würde, komme Kupferband zur Verwendung. Wird wie bei dem Beispiele 4 Seite 21 gesetzt

$$k = 2{,}2,$$

so folgt als Banddicke $d = 1{,}4$ und als Bandbreite

$$b = \frac{q}{d} = \frac{16{,}8}{1{,}4} = 12,$$

also die Breite einschliefslich der Isolation $u = 12{,}8$.

Nach Gl. (11) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke bei Anwendung von Kupferband mit

$$\varrho = 20\, d = 20 \cdot 1{,}4 = 28,$$

damit geht aus Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m hervor

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{16{,}8 \cdot 2400}{28 \cdot 0{,}075}} = 139.$$

Es werde gewählt $m = 50\,\pi = 157$, wie bei der Seite 21 ff. berechneten Maschine, und es läfst sich alsdann der Ankerdurchmesser D nach Gl. (14) ermitteln

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{24 \cdot 50\,\pi}{\pi} = 1200.$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 6$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi \cdot P \cdot f}{n \cdot P} = \frac{(1200 - 28 - 2)\,\pi - 24 \cdot 6}{12{,}8 \cdot 24} = 11{,}4 = \sim 11.$$

Das verwendete Kupferband hat eine sehr kleine Dicke d im Verhältnis zu seiner Breite b. Wird das Kupferband aus getrennten

isolierten Streifen von quadratischem Querschnitte zusammengesetzt gedacht, also aus $\frac{b}{a} = \frac{12}{1{,}4} = 8{,}5$ an der Zahl, so würde einer dieser Streifen einen Raum einnehmen der Breite nach von $1{,}4 + 0{,}8 = 2{,}2$ mm, alle zusammen also von 18,7 mm, wogegen das Band nur 18 mm einnimmt oder etwa nur $^2/_3$ der Breite der quadratischen Streifen hat. Darum mufs, um zu dem richtigen Verhältnisse zu kommen, entweder ϱ vergröfsert werden, oder die Bandwickelungen müssen auseinander gerückt werden, so dafs für eine Bandbreite $n = 12{,}8$ ein Raum von 17,8 mm freigelassen wird. Der letzteren Ausführung entsprechend sollen nur 8 Windungen aufgebracht werden

$$w = 8,$$

so dafs Gl. (16) damit die Induktorbreite λ ergibt

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{2400}{16} - 28 - 4{,}4 - 4 = 114,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot 157 = 15700.$$

Die Länge l bezw. die 8 Windungen mögen als 8 Spulen von je einer Windung zur Ausführung kommen, da sich nach den durch Gl. (17) dargestellten Annahmen kein brauchbares Resultat für s ergibt

$$s = 8.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{\varrho \cdot m \cdot \lambda} = \frac{16{,}8 \cdot 2400}{28 \cdot 157 \cdot 114} = 0{,}080.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^n = 2{,}4\,J = 2{,}4 \cdot 0{,}08 = 0{,}192.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 1200
$+ \varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 28
$+ 2$	= der Isolation des Eisenkernes	= 2
$+ \varrho\,k = 4{,}4$	= der doppelten Kupferbanddicke einschliefslich Isolation	= 4,4
	ist also =	1234,4,

so dafs bei 5,3 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$1234{,}4 + 10{,}6 = 1245$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den Eisenkern nach innen und bei der radialen Dicke des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 28$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 1245 + 40 + 28 = 1313.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt in diesem Falle mit $p' = 42$, wonach sich die Magnetlänge m' ergibt aus Gl. (20)

$$m' = \frac{D' \cdot \pi}{P} - p' = \frac{1313 \cdot 3{,}14}{24} - 42 = 130.$$

Da die Länge l^n nach Gl. (26) $l^n = 24000\ V = 240000$, so folgt aus der Gl. (27) der Wert für q^n, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{l^n} = \frac{0{,}192 \cdot 130 \cdot 28 \cdot 114}{240000} = 0{,}34.$$

Damit ist die Stromstärke bestimmt

$a^n = 2{,}59^n = 2{,}5 \cdot 0{,}34 = 0{,}85 = \sim 0{,}85$,

ebenso der Drahtdurchmesser

$$d^n = \sqrt{0{,}5 \cdot a'} = \sqrt{0{,}5 \cdot 0{,}85} = 0{,}65.$$

und die Drahtdicke einschliefslich der Isolation $k^n = 1{,}4$.

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (28)

$$\frac{L\,(a - a^n)}{a\,(L + l)} = \frac{240000\,(41{,}7 - 0.85)}{41{,}7\,(240000 + 2400)} = 0{,}97.$$

6. Zur Berechnung einer Nebenschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 10$; die Stromstärke $A = 1000$ und die Umdrehungszahl $n = 500$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{500} = 12.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{1000}{12} = 83{,}33.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnets ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 83{,}33 \cdot 10 \cdot 0{,}01 = 8{,}33.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Wickelungslänge

$$L = 24000\ V = 24000 \cdot 10 = 240000$$

und aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum maſsgebende Dimension

$$l = 240\ V\cdot = 240 \cdot 10 = 2400.$$

Der Kupferquerschnitt, die andere für den Wickelraum maſsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a \cdot = 0{,}4 \cdot 83{,}33 = 33{,}33 = \sim 34.$$

Auch bei diesem Querschnitte würde mit Anwendung von Kupferdraht die gröſste zugelassene Dimension $k = 4$ des Wickelraums überschritten. Die deshalb benutzte Kupferbanddicke einschlieſslich der Isolation betrage

$$k = 2{,}8,$$

so ist die Banddicke $d = 2$ und dis Bandbreite

$$b = \frac{q}{d} = \frac{34}{2} = 17.$$

Also die Bandbreite einschlieſslich der Isolation $n = 17{,}8$.
Nach Gl. (11) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke bei Anwendung von rechteckigem Kupferband

$$\varrho = 20\ d = 20 \cdot 2 = 40.$$

Das verwendete Kupferband hat eine sehr kleine Dicke $d = 2$ im Verhältnis zu seiner Breite $b = 17$. Wird das Kupferband aus getrennten isolierten Streifen von quadratischem Querschnitte zusammengesetzt gedacht, also aus $\frac{b}{d} = \frac{17}{2} = 8{,}5$ an der Zahl, so würde einer dieser Streifen einen Raum einnehmen der Breite nach von $2 + 0{,}8 = 2{,}8$ mm, alle zusammen also von $8{,}5 \cdot 2{,}8 = 23{,}8$, wogegen das Band nur 17,8, also etwa $^3/_4$ der Breite beansprucht. Darum muſs, um zu dem richtigen Verhältnisse J zu kommen, entweder ϱ vergröſsert werden oder die Bandwickelungen müssen auseinandergerückt werden, so daſs für eine Bandbreite $n = 17{,}8$ ein Raum von 23,8 mm Breite freigelassen wird. Der ersten Ausführung entsprechend soll $\varrho = 40 + 20 = 60$ gesetzt werden.
Damit geht aus Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m hervor

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{34 \cdot 2400}{60 \cdot 0{,}075}} = 135.$$

Es werde gewählt $m = 42 \cdot \pi = 132$ und so ergibt sich alsdann der mittlere Ankerdurchmesser D nach Gl. (14)

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{12 \cdot 42 \cdot \pi}{\pi} = 504.$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 8$

$$w = \frac{(D - \varrho\, 2)\, \pi - P \cdot f}{n \cdot P} = \frac{(504 - 60 - 2)\, \pi - 12 \cdot 8}{17{,}8 \cdot 12} = 6,$$

und Gl. (16) läfst die Induktorbreite λ erhalten

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k\,4 = \frac{2400}{12} - 60 - 5{,}6 - 4 = 131,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 132 = 13200.$$

Die Länge l bezw. die 6 Windungen mögen als 6 Spulen von je 1 Windung behandelt werden, da sich nach den durch Gl. (17) dargestellten Annahmen kein brauchbares Resultat für s ergibt

$$s = 6.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{34 \cdot 2400}{132 \cdot 60 \cdot 131} = 0{,}078.$$

Nach Gl. (25) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^n = 2{,}4 \cdot J \cdot = 2{,}4 \cdot 0{,}078 = 0{,}187.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 504
$+\varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 60
$+2$	= der Isolation des Eisenkerns	= 2
$+2\,k = 5{,}6$	= der doppelten Kupferbanddicke einschliefslich Isolation	= 5,6
	ist also	= 571,6,

so dafs bei 5,2 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$571{,}6 + 205{,}2 = 582$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den Eisenkern nach innen und bei der radialen Dicke des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 60$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 582 + 40 + 60 = 682.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt in diesem Falle mit $p' = 60$, wonach sich die Magnetlänge m' ergibt aus Gl. (20)

$$m' = \frac{D'\,\pi}{P} - p' = \frac{682 \cdot 3{,}14}{12} - 60 = 119.$$

Da die Länge l^n nach Gl. (26) $l^n = 24000\ V = 240000$, so folgt aus der Gl. (27) der Wert für q^n, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho \cdot \lambda'}{l^n} = \frac{0{,}187 \cdot 119 \cdot 60 \cdot 131}{240000} = 0{,}73.$$

Damit ist die Stromstärke bestimmt

$$a^n = 2{,}5\, q^n = 2{,}5 \cdot 0{,}73 = 1{,}83,$$

ebenso der Drahtdurchmesser

$$d^n = \sqrt{0{,}5\ a^n} = \sqrt{0{,}5 \cdot 1{,}83} = 0{,}96$$

und die Drahtdicke einschliefslich Isolation $k = 1{,}7$.
Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (28)

$$\frac{L\ (a - a^n)}{a\ (L + l)} = \frac{240000\ (83{,}33 - 1{,}83)}{83{,}33\ (240000 + 2400)} = 0{,}97.$$

7. Zur Berechnung einer Nebenschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 10$, die Stromstärke $A = 1000$ und die Umdrehungszahl $n = 1000$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{1000} = 6.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{1000}{6} = 167.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 167 \cdot 10 \cdot 0{,}01 = 16{,}7.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Wickelungslänge

$$L = 24000 \cdot 10 \cdot 240000$$

und aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot V = 240 \cdot 10 = 2400$$

Der Kupferquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a \cdot = 0{,}4 \cdot 167 = 66{,}7 = \sim 66{,}8.$$

Die Maschine werde mit nacktem Kupferband von 4 mm Dicke bewickelt und es werde zwischen je 2 Windungen ein Spielraum gelassen. Demnach ist

$$d = k = 4 \text{ und } b = \frac{66{,}8}{4} = 16{,}7.$$

Es mufs also sein

$$\varrho = 20 \cdot d = 20 \cdot 4 = 80,$$

mit welchem Werte aus Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m hervorgeht

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{66{,}8 \cdot 2400}{80 \cdot 0{,}075}} = \sim 164.$$

Es werde gewählt

$$m = 50\,\pi = 157$$

und es läfst sich alsdann der Ankerdurchmesser D nach Gl. (14) ermitteln

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{6 \cdot 50 \cdot \pi}{\pi} = 300.$$

Das verwendete nackte Kupferband hat eine sehr kleine Dicke $d = 4$ im Verhältnis zu seiner Breite $b = 16{,}7$. Wird das Kupferband aus getrennten isolierten Streifen von quadratischem Querschnitte zusammengesetzt gedacht, also aus

$$\frac{b}{d} = \frac{16{,}7}{4} = \sim 4$$

an der Zahl, so würde einer dieser Streifen einen Raum einnehmen der Breite nach von $4 + 0{,}8 = 4{,}8$, alle zusammen also von etwa 20 mm, wogegen das Band nur 16,7, d. h. etwa $^4/_5$ dieser Breite beansprucht. Darum mufs, um zu dem richtigen Verhältnisse J zu kommen, entweder ϱ vergröfsert werden oder die Bandwickelungen müssen auseinander gerückt werden, so dafs für eine Bandbreite $b = 16{,}7$ ein Raum von $u = 20$ mm Breite freigelassen wird. Der letzten Ausführung entsprechend, ergibt sich nach Gl. (15) die Windungszahl mit $f = 10$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{u \cdot P} = \frac{(300 - 80 - 2)\,3{,}14 - 6 \cdot 10}{20 \cdot 6} = 5.$$

Gl. (16) ergibt damit die Induktorbreite λ

$$\lambda = \frac{l}{2w} - \varrho - 2k - 4 = \frac{2400}{10} - 80 - 8 - 4 = 148$$

und aus Gl. (1) folgt die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v

$$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 157{,}1 = 15710,$$

Die Länge l, bezw. die 5 Windungen, mögen als 5 Spulen von je 1 Windung zur Ausführung kommen, da sich nach den durch Gl. (17) dargestellten Annahmen kein brauchbares Resultat für s ergibt

$$s = 5.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{\varrho \cdot m \cdot \lambda} = \frac{66{,}8 \cdot 2400}{80 \cdot 157 \cdot 148} = 0{,}088.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^n = 2{,}4\, J = 2{,}4 \cdot 0{,}088 = 0{,}2112.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	=	dem mittleren Induktordurchmesser	= 300
$+\varrho$	=	der radialen Eisenkerndimension	= 80
$+2$	=	der Isolation des Eisenkernes	= 2
$+2k$	=	80 der doppelten Kupferbanddicke einschliefslich der Isolation	= 8
		ist also	= 390,

so dafs bei 6 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$390 + 12 = 402,$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den Eisenkern nach innen und bei der radialen Dicke des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 80$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 402 + 40 + 80 = 522.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit $p' = 80$, wonach sich die Magnetlänge m' ergibt aus Gl. (20)

$$m' = \frac{D' \cdot \pi}{P} - p' = \frac{522 \cdot 3{,}14}{6} - 116 = 157.$$

Da die Länge l^n nach Gl. (26)

$$l^n = 24000\, V = 240000,$$

so folgt aus Gl. (27) der Wert für q^n, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{l^n} = \frac{0{,}211 \cdot 157 \cdot 80 \cdot 148}{240000} = 1{,}7.$$

Damit ist die Stromstärke bestimmt

$$a^n = 2{,}5\, q^n = 2{,}5 \cdot 1{,}7 = 4{,}25,$$

ebenso der Durchmesser

$$d^n = \sqrt{0{,}5 \cdot a^n} = \sqrt{0{,}5 \cdot 4{,}25} = 1{,}45,$$

und die Drahtdicke einschliefslich der Isolation $k = 2{,}2$.

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (28)

$$\frac{L\,(a - a^n)}{a\,(L + l)} = \frac{240000\,(167 - 4{,}25)}{167\,(240000 + 2400)} = 0{,}97.$$

C. Doppelschlufsmaschinen.

1. **Die Bewickelungen der induzierenden Magnete.** Die Rechnung für den Induktor der Doppelschlufsmaschine ist die gleiche wie für den Induktor der Haupt- oder Nebenschlufsmaschine. Das Verhältnis J^h ist zu machen

$$J^h = 1{,}2\,J \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (29)$$

und ebenso das Verhältnis

$$J^n = 1{,}2\,J \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

Die Länge l^n und die Werte für a^n, q^n und w^n finden sich wie bei der Nebenschlufsmaschine. Die Länge l^h und die Werte für a^h, q^h und w^h finden sich wie bei der Hauptschlufsmaschine.

2. **Das elektrische Güteverhältnis.** Das elektrische Güteverhältnis der Maschine, wenn der Nebenschlufs an den Stromsammlern angeschlossen gedacht wird, bestimmt sich wie folgt.

Der Verlust an elektrischem Effekt in allen Induktormagneten zusammen ist

$$= \frac{P \cdot a \cdot l}{24000}.$$

Der Effektverlust in allen Hauptschlufsbewickelungen zusammen ist

$$= \frac{P \cdot a^h \cdot l^h}{24000}.$$

Der Effektverlust in allen Nebenschlufsbewickelungen zusammen ist

$$= \frac{P \cdot a^n \cdot l^n}{24000}.$$

Der von der Maschine zur Verfügung gegebene Effekt ist

$$= \frac{P \cdot a \cdot L}{24000} - \frac{P \cdot a^n \cdot l^n}{24000} - \frac{P \cdot a^h \cdot l^h}{24000}.$$

Der totale erzeugte elektrische Effekt ist

$$= \frac{P \cdot a \cdot L}{24000} + \frac{P \cdot a \cdot l}{24000}.$$

Das Verhältnis $\dfrac{\text{verfügbarer Effekt}}{\text{totaler erzeugter Effekt}}$ ist gleich

$$= \frac{a \cdot L - a^h \cdot l^h - a^n \cdot l^n}{a \cdot L + a \cdot l} = \frac{a \cdot L - a^h \cdot l^h - a^n \cdot l^n}{a\,(L + l)} \quad . \quad . \quad (31)$$

3. Zur Berechnung einer Doppelschlufsmaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$, die Stromstärke $A = 100$ und die Umdrehungszahl $n = 600$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{600} = 10.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{100}{10} = 10.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 10 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 10.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot V = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot V = 240 \cdot 100 = 24000.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 10 = 4 \text{ ges.} = 4{,}15$$

und der entsprechende Drahtdurchmesser aus Gl. (9),

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 10} = \sim 2{,}3,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu $k = 3{,}1$.

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndicke

$$\varrho = 16\, d = 16 \cdot 2{,}3 = 37$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{4{,}15 \cdot 24000}{37 \cdot 0{,}075}} \sim 189.$$

Es werde gewählt $m = 56\,\pi = 176$.

Dann ist nach Gl. (14) der mittlere Induktordurchmesser

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{10 \cdot 56 \cdot \pi}{\pi} = 560.$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 12$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{P \cdot k} = \frac{(560 - 37 - 2)\,3{,}14 - 10 \cdot 12}{10 \cdot 3{,}1} = 48.$$

Mit der bekannten Windungszahl w ergibt Gl. (16) die Induktorbreite

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{24000}{96} - 37 - 6{,}2 - 4 = 203,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot 176 = 17600.$$

Die Länge l bezw. die 48 Windungen ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = 20$$

also 20 Spulen, wofür jedoch 16 Spulen von je 3 Windungen ausgeführt werden sollen, also

$$s = 16.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten geworden nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{\varrho \cdot m \cdot \lambda} = \frac{4{,}15 \cdot 24000}{176 \cdot 37 \cdot 203} = 0{,}075.$$

Nach Gl. (29) mufs für den Hauptschlufs sein

$$J^h = 1{,}2\ J = 0{,}09$$

und für den Nebenschlufs nach Gl. (30)

$$J^n = 1{,}2\ J = 0{,}09.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser	= 560
$+\varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	= 37
$+2$	= der Isolation dea Eisenkernes	= 2
$+2\,k$	= 6,2 = der doppelten Drahtdicke einschliefslich der Isolation	= 6,2
		ist also = 605,2,

so dafs bei 5,4 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$605{,}2 + 10{,}8 = 616$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 37$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 616 + 40 + 37 = 693.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit

$$p' = 42,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D' \pi}{P} - p' = \frac{693 \cdot 3{,}14}{10} - 42 = 176.$$

Da der Kupferquerschnitt

$$q^h = 0{,}4\, a^h = 0{,}4 \cdot a \cdot = q = 4{,}15,$$

somit $d^h = d = 2{,}3$ und $k^h = k = 3{,}1$, so folgt aus der Gl. (22) der Wert für l^h, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$l^h = \frac{J^h \cdot \varrho' \cdot m' \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}09 \cdot 37 \cdot 176 \cdot 203}{4{,}15} = 28669 = \sim 29000.$$

Mittels dieses Wertes ergibt sich aus Gl. (23) die Zahl der Hauptschluſs-Windungen, welche zur Ausführung zu bringen ist

$$w^h = \frac{l^h}{2\,\varrho' + 2\,\lambda' + 4\,k + 8} = \frac{29000}{74 + 406 + 12{,}4 + 8} = 58.$$

Alle Nebenschluſswickelungen seien hintereinander geschaltet und deren Gesamtlänge berechnet sich nach Gl. (26)

Gesamtnebenschluſslänge $= 24000\, V = 24000 \cdot 100 = 2400000$,

damit wird

$$l^n = \frac{2400000}{10} = 240000,$$

und aus Gl. (27) folgt der Wert für q^n

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{l^n} = \frac{0{,}09 \cdot 176 \cdot 37 \cdot 203}{240000} = 0{,}496 = \sim 0{,}5.$$

Damit ist die Stromstärke bestimmt

$$a^n = 2{,}5\, q^n = 2{,}5 \cdot 0{,}5 = 1{,}25,$$

ebenso der Durchmesser

$$d^n = \sqrt{0{,}5 \cdot a^n} = \sqrt{0{,}5 \cdot 1{,}25} = 0{,}8,$$

und die Drahtdicke einschlieſslich der Isolation $k^n = 1{,}7$.

Das elektrische Güteverhältnis der berechneten Maschine ist nach Gl. (31)

$$\frac{a \cdot L - a^h \cdot l^h - a^n \cdot l^n}{a\,(L + l)} = \frac{10 \cdot 2400000 - 10\ \ 29000 - 1{,}25 \cdot 240000}{10\,(2400000 + 24000)} =$$

$$= 0{,}97.$$

D. Elektromotoren.

1. **Anforderungen.** Für den Aufbau der Elektromotoren oder Sekundärmaschinen gelten dieselben Gesichtspunkte und Grundsätze wie für andere Dynamomaschinen. Die besonderen Anforde-

rungen, welche an Elektromotoren in einzelnen Fällen gestellt werden, bedingen die Art der Ausführung. Diese Anforderungen können sich auf die unterschiedliche Arbeitsleistung, die Raum-inanspruchnahme, unterschiedliche Umdrehungszahl und auch die unterschiedliche verfügbare elektrische Arbeit beziehen. Weil aber zum Betriebe der stromgebenden Maschinen im allgemeinen solche Motoren benutzt werden, welche für unterschiedliche Arbeitsleistung stets die gleiche Anzahl Umdrehungen in der Minute besitzen oder der stromgebenden Maschine erteilen, so werde nachfolgend nur die eine Aufgabe ausführlicher behandelt: Elektromotoren für stets gleiche Spannung und unterschiedliche Stromstärke zu berechnen.

Zur Verwendung als Elektromotoren können sowohl Haupt wie Neben-, als auch Doppelschlufsmaschinen kommen. Das Verhältnis des Magnetismus der induzierenden Magnete zum Magnetismus der induzierten Magnete bei unterschiedlicher Stromaufnahme ist stets das gleiche bei Hauptschlufsmaschinen; bei Nebenschlufsmaschinen ist der Magnetismus der induzierenden Magnete stets der gleiche und der der induzierten Magnete der aufgenommenen Stromstärke entsprechend; bei Doppelschlufsmaschinen setzt sich der Magnetismus der induzierenden Magnete zusammen aus einem stets gleichen Teil und einem anderen mit der Stromstärke veränderlichen Teile, von welchen der letztere stets im gleichen Verhältnisse steht zu dem mit der Stromstärke veränderlichen Magnetismus der induzierten Magnete. Aus dieser Kennzeichnung ergibt sich direkt, dafs bei gleicher Umdrehungszahl und bei gleicher Stromstärke eine Hauptschlufsmaschine weniger Umfangskraft entwickelt wie eine gleiche mit Doppelschlufswickelung versehene Maschine. Unter denselben Bedingungen wird eine Doppelschlufsmaschine weniger Umfangskraft entwickeln wie eine gleiche mit reiner Nebenschlufswickelung versehene Maschine. Der Unterschied der Umfangskräfte von nur mit verschiedener Bewickelung der induzierenden Magnete versehenen sonst gleichen Maschinen wird kleiner bei zunehmender Belastung und Stromaufnahme und verschwindet bei gröfster Inanspruchnahme der Maschinen. Der Anlauf (vom Stillstande aus) einer Hauptschlufsmaschine erfolgt rascher als der einer Doppelschlufsmaschine und der Anlauf der letzteren rascher als der von Nebenschlufsmaschinen, gleiche Belastung und bis auf die Bewickelung der induzierenden Magnete gleiche Maschinen vorausgesetzt.

Ein Elektromotor wird als Hauptschlufsmaschine zu berechnen sein und kann dann in besonderer Weise bewickelt werden am induzierenden Teile, zur Erreichung besonderer wünschenswerter Eigen-

schaften. Weiterhin wird der allgemeine Fall behandelt, indem die für stets gleiche Spannung und unterschiedliche Stromstärke eingerichtete Sekundärmaschine bei einer unterschiedlichen Stromstärke und entsprechender Arbeitsleistung unterschiedliche Umdrehungszahl erhalten kann, alsdann sind Aufgaben über Zweitmaschinen, die weniger Anforderungen zu genügen haben, eine Vereinfachung des behandelten allgemeinen Falles und darum aus diesem abzuleiten.

2. **Mehrere gleiche parallel geschaltete Maschinen.** An der Zahl z gleiche Hauptschlufsmaschinen sind auf einer Achse montiert. Wird die Hälfte $\frac{z}{2}$ dieser Maschinen parallel eingeschaltet, so nehmen dieselben bei V Volt und der Umdrehungszahl n eine Stromstärke $= \frac{A}{2}$ auf und leisten eine bestimmte Arbeit H.

Die Stromstärke in irgend einem Magnete ist gleich

$$\frac{A}{2} \cdot \frac{2}{z \cdot P} = \frac{A}{z \cdot P}$$

der entsprechende Magnetismus sei bezeichnet mit

$$\frac{A}{z \cdot P} \cdot c$$

Die Wechselwirkung zwischen den induzierenden und induzierten P-Magneten einer Untermaschine sei bezeichnet mit

$$\left(\frac{A}{z \cdot P}\right)^2 \cdot C$$

unter Einführung einer neuen Konstanten.

Darum ist die Umfangskraft von $\frac{z}{2}$ Untermaschinen proportional

$$\left(\frac{A}{Z \cdot P}\right)^2 \cdot C \cdot \frac{z}{2} = \left(\frac{A}{P}\right)^2 \cdot \frac{C}{2 \cdot z}$$

und die Arbeitsleistung H werde bezeichnet bei der Umdrehungszahl n bezw. Umfangsgeschwindigkeit v mit

$$H = \left(\frac{A}{P}\right)^2 \cdot \frac{C}{2 \cdot z} \cdot v.$$

Wird eine weitere gleiche Untermaschine parallel eingeschaltet, so dafs $\frac{z}{2} + 1$ im Betriebe sind, dann ist die Umfangskraft aller dieser Maschinen gleich

$$\left(\frac{A}{(z+2)\,P}\right)^2 \cdot C \cdot \frac{z+2}{2} = \left(\frac{A}{P}\right)^2 \cdot \frac{C}{2\,(z+2)}.$$

Die Umdrehungszahl hat sich bei gleicher Arbeitsleistung H der Maschinen geändert; denn die Stromstärke $\frac{A}{2}$ und die Spannung V

sollen dieselben bleiben, während sich die Stromstärke in jedem Magnete verringert und zwar auf den Wert

$$\frac{2}{z+2} \cdot \frac{A}{P \cdot 2} = \frac{A}{(z+2)\,P}$$

Um diese Stromstärke im Induktor aufzubrauchen bei der Spannung V, und um keine gröfsere Stromstärke eintreten zu lassen, mufs nach Gleichung

$$L = V \cdot \frac{q}{a} \cdot 60000,$$

L die ideelle Drahtlänge auf $\frac{z+2}{z} \cdot L$ vergröfsert werden und dies geschieht, indem die Umdrehungszahl bezw. Geschwindigkeit von v auf $\frac{z+2}{z} \cdot v$ wächst.

Bei dieser vergröfserten Umdrehungszahl n stellt sich die Arbeitsleistung H dar durch

$$H = \left(\frac{A}{P}\right)^2 \cdot \frac{C}{2\,(z+2)} \cdot \frac{z+2}{z} \cdot v = \left(\frac{A}{P}\right)^2 \cdot \frac{C}{2\,z} \cdot v$$

also gleich der obigen bei der Maschinenzahl $\frac{z}{2}$ und nur die Umdrehungszahl hat sich geändert und die Beanspruchung der Bewickelungsquerschnitte.

Wird demnach der Elektromotor aus kleineren Maschinen, d. h. Untermaschinen zusammengesetzt, so kann bei gleicher Arbeitsleistung unterschiedliche Tourenzahl erzielt werden. Auch unterschiedliche Arbeit bei konstanter oder verschiedener Umdrehzahl leistet ein derartiger Elektromotor. Die Anzahl von kleineren Maschinen, in die der Elektromotor zerlegt werden mufs, wird durch die Feinheit der Unterschiede in der Umdrehungszahl n, die verlangt wird, bestimmt und durch die Unterschiede in der verfügbaren elektrischen Arbeit, die noch bei oberster oder unterster Grenze durch den Elektromotor in einer gewissen Umdrehzahl umgesetzt werden soll.

3. **Mehrere gleiche hinter einander geschaltete Maschinen.** Sollen die einzelnen Teile eines Elektromotors, die Untermaschinen, nicht parallel, sondern hinter einander geschaltet werden, so läfst sich auch mit dieser Anordnung den Anforderungen unterschiedlicher Umdrehungszahl bei konstanter Arbeit und konstanter Umdrehungszahl bei unterschiedlicher Arbeit genügen.

Von z gleichen Hauptschlufsmaschinen, deren jede für die höchste verfügbare Stromstärke A gebaut sein mufs, seien $\frac{z}{2}$ hinter-

einander geschaltet, V Volt und die Stromstärke A aufnehmend, bei der Umdrehzahl n und die bestimmte Arbeit H abgebend.

Die Stromstärke in irgend einem Magnete ist gleich

$$\frac{2\,A}{z \cdot P}$$

der entsprechende Magnetismus sei bezeichnet mit

$$\frac{2\,A}{z \cdot P} \cdot c$$

Die Wechselwirkung zwischen induzierendem und induziertem Magnete sei bezeichnet mit $\left(\frac{2\,A}{z \cdot P}\right)^2 \cdot C$

unter Einführung einer neuen Konstanten. Alsdann ist die Umfangskraft von $\frac{z}{2}$ Maschinen proportional

$$\left(\frac{2\,A}{z \cdot P}\right)^2 \cdot C \cdot \frac{z}{2}$$

und die Arbeitsleistung H werde bezeichnet bei der Umdrehzahl n bezw. Umfangsgeschwindigkeit v mit

$$H = \left(\frac{2\,A}{z \cdot P}\right)^2 \cdot C \cdot \frac{z}{2} \cdot v.$$

Wird eine weitere gleiche Untermaschine vorgeschaltet, so dafs $\frac{z}{2} + 1$ im Betriebe sind, dann ist die Umfangskraft bei constanter Stromaufnahme A aller Maschinen zusammen gleich

$$\left(\frac{2\,A}{z \cdot P}\right)^2 \cdot C \cdot \frac{z+2}{2}.$$

Die Umdrehungszahl hat sich bei gleicher Arbeitsleistung H der Maschinen geändert, denn die Stromstärke $\frac{A}{2}$ und die Spannung V sollen dieselben bleiben, während sich die Spannung in jedem Induktormagnete verringert und zwar auf den Wert $\frac{z}{z+2}$ des früheren. Dementsprechend mufs nach der Gl.

$$L = V \cdot \frac{q}{a} \cdot 60000$$

die ideelle Drahtlänge verringert werden und dies geschieht, indem die Umdrehungszahl bezw. die Umfangsgeschwindigkeit v von v auf $v \cdot \frac{z}{z+2}$ sinkt. Die geleistete Arbeit stellt sich dar

$$H = \left(\frac{2\,A}{z \cdot P}\right)^2 \cdot C \cdot \frac{z+2}{2} \cdot \frac{z}{z+2} \cdot v = \left(\frac{2\,A}{z \cdot P}\right)^2 \cdot C \cdot \frac{z}{2} \cdot v,$$

ist also gleich der obigen bei der Maschinenzahl $\frac{z}{2}$ und nur die Umdrehungszahl hat sich verringert.

Werden die Untermaschinen so ausgeführt, dafs eine derselben die ganze Arbeit aufnehmen und umsetzen kann, so gibt eine solche allein eingeschaltet die höchste Umdrehungszahl. Während bei parallel geschalteten Maschinen die Umdrehungszahl wächst, bei Vermehrung der Maschinen nimmt sie bei hintereinandergeschalteten Maschinen ab.

Eine Einrichtung bei der die Maschinen sowohl parallel als auch hintereinander geschaltet werden können, machte es möglich, den gestellten Anforderungen in noch höherer Vollkommenheit und weiteren Grenzen als bei einer Schaltungsweise zu entsprechen.

4. **Das elektrische Güteverhältnis der Maschine.** Das elektrische Güteverhältnis eines Hauptschlufselektromotors, das heifst das Verhältnis des die Drehung der Maschine bewirkenden elektrischen Effektes zu dem ganzen aufgenommenen elektrischen Effekt bestimmt sich wie folgt.

In allen Induktormagneten zusammen beträgt der Effekt-Verlust

$$\frac{P \cdot a \cdot l}{24000} = \frac{A \cdot l}{24000}$$

in allen induzierenden Magneten zusammen beträgt der Verlust

$$\frac{P \cdot a^h \cdot l^h}{24000} = \frac{A \cdot l^h}{24000}.$$

Der ganze aufgenommene elektrische Effekt beträgt

$$= \frac{A \cdot L}{24000} + \frac{A \cdot l^h}{24000}$$

Demnach das Verhältnis

$$= \frac{\text{nutzbarer elektr. Effekt}}{\text{verfügbarer elektr. Effekt}} =$$

$$\frac{\frac{A \cdot L}{24000} - \frac{A \cdot l}{24000}}{\frac{A \cdot L}{24000} + \frac{A \cdot l^h}{24000}} = \frac{L - l}{L + l^h} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (32$$

5. Zur Berechnung eines Elektromotors seien gegeben die stets gleiche verfügbare Spannung $V = 1000$, die zwischen den Grenzen $A = 60$ und $A = 240$ verschiedene im Mittel $A = 120$ betragende Stromstärke und die mittlere Umdrehungszahl $n = 300$. Die Maschine soll bei gleicher mittlerer Arbeitsleistung zwischen 150 und 450 Umdrehungen regulierbar sein und soll die kleinste verfügbare elektrische Arbeit bei einer Umdrehungszahl $n = 300$ umsetzen können.

Für die mittlere Umdrehungszahl $n = 300$ gelte Gl. (1). Alsdann ist die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{300} = 20.$$

Wird alsdann $n = 150$, so wird das Verhältnis $\frac{v}{m}$ sich ändern

$$\frac{v}{m} = \frac{P \cdot n}{60} = \frac{20 \cdot 150}{60} = 50$$

und bei $n = 450$ wird

$$\frac{v}{m} = \frac{P \cdot n}{60} = \frac{20 \cdot 450}{60} = 150.$$

Wenn 4 Untermaschinen, deren jede für eine Stromstärke von $A = 60$ die Spannung von $V = 1000$ und die Umdrehungszahl $n = 300$ gebaut ist, zur Ausführung kommen, so geben bei der höchsten verfügbaren elektrischen Arbeit $A = 240$, $V = 1000$ 4 parallel geschaltete Untermaschinen die Arbeit ab bei der Umdrehzahl $n = 300$.

Ist die mittlere Stromstärke $A = 120$ bei $V = 1000$ verfügbar, so geben die Arbeit ab

2 Untermaschinen bei der Umdrehungszahl . . . . . $n = 300$
3 parallele Untermaschinen bei der Umdrehungszahl . $n = 450$
4 » » » » » . $n = 600$

Werden hinter die 2 parallel geschalteten Untermaschinen die anderen 2 Untermaschinen parallel geschaltet, so geben die 4 Untermaschinen die Arbeit ab bei der Umdrehungszahl $n = 150$.

Ist die kleinste Stromstärke $A = 60$ bei $V = 1000$ verfügbar, so geben die Arbeit ab

1 Untermaschine bei der Umdrehungszahl . . . . . $n = 300$
2 parallele Untermaschinen bei der Umdrehungszahl . $n = 600$
3 » » » » » . $n = 900$
4 » » » » » . $n = 1200$
2 hintereinandergeschaltete Untermaschinen bei der Umdrehungszahl . . . . . $n = 150$
3 hintereinandergeschaltete Untermaschinen bei der Umdrehungszahl . . . . . $n = 100$
4 hintereinandergeschaltete Untermaschinen bei der Umdrehungszahl . . . . . $n = 75$

Werden hinter 2 parallelen Untermaschinen die anderen beiden parallel geschaltet, so geben die 4 Untermaschinen die Arbeit ab bei der Umdrehungszahl $n = 300$.

Bei diesen Entwickelungen wurde nicht berücksichtigt, dafs die auf den Anker kommende Spannung um den Verlust in den induzierenden Magneten verringert wird, was um so eher angänglich, je gröfser der Wert von $\frac{v}{m}$ ist.

E. Wechselstrommaschinen.

1. **Verschiedene Arten der Anordnung, der Erregung und des Betriebes.** Die oben berechneten dynamischen Elektrizitätserzeuger werden zu Wechselstrommaschinen umgestaltet, sofern ihre induzierenden Magnete mit Wechselstrom gespeist werden, oder sofern bei Speisung der induzierenden Magnete mit Gleichstrom der erzeugte Strom nur von den Enden der zweckmäfsig verbundenen Drahtlängen l abgenommen wird. Der Gleichstrom zur Speisung der induzierenden Magnete kann durch Gleichrichtung eines Teiles des erzeugten Wechselstromes gewonnen werden oder durch Entnahme von Gleichstrom vom Induktor, kann aber auch einer auf gleicher Achse mit der Wechselstrommaschine sitzenden Gleichstrommaschine entnommen werden. Wird eine mit Gleichstrom erregte Wechselstrommaschine der gleichen Konstruktion wie die vorberechneten Maschinen mit Kollektor für Abgabe von Gleichstrom versehen, so gibt sie bei der Umdrehungszahl n und irgend einem Aufsenwiderstand und einer gewissen Stromstärke in den induzierenden Magneten eine Spannung V und eine Stromstärke A zur Verfügung, indem sie eine Arbeit H aufnimmt. Wird dem Induktor derselben Maschine Wechselstrom entnommen bei einem dem früheren gleichen Aufsenwiderstand, gleicher Stromstärke in den induzierenden Magneten und gleicher Umdrehungszahl n, so gibt die Maschine eine geringere Spannung und Stromstärke zur Verfügung, als bei der Entnahme von Gleichstrom. In demselben Verhältnisse ist die verbrauchte Arbeit kleiner geworden.

2. **Das elektrische Güteverhältnis.** Das elektrische Güteverhältnis einer sich selbst mit Gleichstrom erregenden Maschine bestimmt sich wie folgt.

Der Verlust in allen Induktormagneten zusammen ist

$$\frac{P \cdot a \cdot l}{24000}$$

Der Verlust in allen induzierenden Magneten zusammen ist

$$\frac{P \cdot a^n \cdot l^n}{24000}$$

Der von der Maschine zur Verfügung gegebene elektr. Effekt ist

$$\frac{P \cdot a \cdot L}{24000} - \frac{P \cdot a^n \cdot l^n}{24000}.$$

Der totale erzeugte Effekt ist

$$\frac{P \cdot a \cdot L}{24000} + \frac{P \cdot a \cdot l}{24000}$$

infolgedessen das Verhältnis

$$\frac{\text{verfügbarer Effekt}}{\text{totaler erzeugter Effekt}} = \frac{a \cdot L - a^n \cdot l^n}{a\,(L + l)} \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

3. Zur Berechnung einer mit Gleichstrom sich selbst erregenden Wechselstrommaschine seien gegeben die Spannung $V = 100$ und die Stromstärke $A = 240$, sowie die Umdrehungszahl $n = 100$.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$, folgt aus Gl. (2) die Polzahl

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{100} = 60.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{240}{60} = 4.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 4 \cdot 100 \cdot 0{,}01 = 4.$$

Aus Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot V = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot V = 24000.$$

Der Kupferquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 4 = 1{,}6 = \sim 1{,}54,$$

und der entsprechende Durchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 4} = \sim 1{,}4,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu $k = 2{,}2$.

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ, der radialen Eisenkerndimension $\varrho = 16 \cdot d = 16 \cdot 1{,}4 = \sim 22$,

und nach Gl. (13) ein Mittelwert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{1{,}54 \cdot 24000}{22 \cdot 0{,}075}} = \sim 150.$$

Um mit der Umfangsgeschwindigkeit v nicht zu klein und mit dem mittleren Durchmesser nicht zu grofs zu werden, werde gewählt

$$m = 42 \cdot \pi = 132,$$

dann ist nach Gl. (14) der mittlere Induktordurchmesser

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{60 \cdot 42 \cdot \pi}{\pi} = 2520.$$

Gl. (15) ergibt die Windungszahl w mit $f = 5$

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - P \cdot f}{k \cdot P} = \frac{(2520 - 22 - 2)\,\pi - 60 \cdot 5}{2{,}2 \cdot 60} = \backsim 57.$$

und Gl. (16) läfst die Induktorbreite λ erhalten

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{24000}{114} - 22 - 4{,}4 - 4 = 180,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot m = 100 \cdot 132 = 13200.$$

Die Länge l, bezw. die 57 Windungen ergeben nach Gl. (17)

$$s = \frac{V}{5} = \frac{100}{5} = 20,$$

also 20 Spulen, jedoch sollen 19 Spulen von je 3 Windungen zur Ausführung kommen, also $s = 19$.

Das Verhältnis J ist mit den obenbestimmten Werten geworden nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{1{,}54 \cdot 24000}{132 \cdot 22 \cdot 180} = 0{,}071.$$

Nach Gl. (18) mufs für den induzierenden Magnet sein

$$J^n = 2{,}4\,J = 2{,}4 \cdot 0{,}071 = 0{,}170.$$

Weil aber die resultierende Spannung nach früheren Erörterungen nur bei entnommenem Gleichstrom 100 Volt und bei entnommenem Wechselstrom angenommener Weise 80 Volt betragen würde, so werde J^n um ein Viertel seines Wertes vergröfsert, wodurch die Spannung des entnommenen Wechselstromes auf 100 Volt, und des Gleichstroms auf 125 Volt gebracht sein soll, also $J^n = 0{,}170 + 0{,}043 = 0{,}213$.

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung, setzt sich zusammen aus

D	= dem mittleren Induktordurchmesser . . .	=	2520
$+\varrho$	= der radialen Eisenkerndimension	=	22
$+2$	= der Isolation des Eisenkernes	=	2
$+2k$	= 4,4 = der doppelten Drahtdicke einschliefslich der Isolation	=	4,4
	ist also	=	2548,4,

so dafs bei 6,3 mm radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh-Innenfläche die Ausdrehung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$2548{,}4 + 12{,}6 = 2561{,}0$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 22$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 2561 + 40 + 22 = 2623.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt in diesem Falle mit $p' = 22,$

wonach sich die Magnetlänge m aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D' \cdot \pi}{P} - p' = \frac{2623 \cdot 3{,}14}{60} - 22 = 137{,}4 - 22 = \sim 115.$$

Da die Länge l^n mit Gleichstrom von 125 Volt gespeist wird, so wird nach Gl. (26)

$$l^n = 24000 \; V = 24000 \cdot 125 = 3000000$$

und aus Gl. (27) folgt der Wert für q^n, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt wird

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{l^n} = \frac{0{,}213 \cdot 115 \cdot 22 \cdot 180}{3000000} = 0{,}032.$$

Werden die Bewickelungen der 60 induzierenden Magnete hintereinander geschaltet, so kommt auf einen Magnet die Länge

$$l^n = \frac{3000000}{60} = 50000$$

und der Querschnitt

$$q^n = 60 \cdot 0{,}032 = 1{,}92.$$

Damit ist die Stromstärke bestimmt

$$a^n \cdot = 2{,}5 \cdot q^n = 2{,}5 \cdot 1{,}92 = 4{,}8$$

und der Durchmesser $d = 1{,}7$

und die Drahtdicke einschliefslich der Isolation $k = 2{,}5$.

Das elektrische Güteverhältnis der Maschine ist nach Gl. (33)

$$\frac{a \cdot L - a^n \, l^n}{a \, (L + l)} = \frac{4 \cdot 2400000 - 4{,}8 \cdot 50000}{4 \, (2400000 + 24000)} = 0{,}97.$$

4. Zur Berechnung einer Wechselstrommaschine seien gegeben die Spannung $V = 2000$ und die Stromstärke $A = 150$ bei der Umdrehungszahl $n = 100$. Die induzierenden Magnete sollen von einer Gleichstrommaschine mit 100 Volt Spannung gespeist werden.

Mit Gl. (1) $\frac{v}{m} = 100$ folgt aus Gl. (2)

$$P = \frac{6000}{n} = \frac{6000}{100} = 60.$$

Aus Gl. (3) ergibt sich die Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{150}{60} = 2{,}5.$$

Die die Bewickelung bestimmende gröfste elektrische Arbeit eines Magnetes ist nach Gl. (4)

$$a \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 2{,}5 \cdot 2000 \cdot \frac{1}{100} = 50.$$

Aus der Gl. (5) folgt die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot V = 24000 \cdot 2000 = 48000000,$$

aus Gl. (7) die erste für den Wickelraum mafsgebende Dimension

$$l = 240 \cdot 2000 = 480000.$$

Der Kupferdrahtquerschnitt, die andere für den Wickelraum mafsgebende Dimension berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4\ a = 0{,}4 \cdot 2{,}5 = 1 \text{ gesetzt} = 1{,}13$$

und der entsprechende Drahtdurchmesser aus Gl. (9)

$$d = \sqrt{0{,}5 \cdot a} = \sqrt{0{,}5 \cdot 2{,}5} = 1{,}2,$$

wonach die Drahtdicke einschliefslich der Isolation angenommen werde zu $k = 2{,}0$.

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ, wenn, bei dieser Maschine ausnahmsweise, 3 Drahtlagen auf den Induktor gebracht werden sollen

$$\varrho = 16 \cdot d \cdot 3 = 16 \cdot 1{,}2 \cdot 3 = 57{,}6 = \sim 58$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{1{,}13 \cdot 480000}{58 \cdot 0{,}075}} = 353.$$

Es werde gewählt $m = 60 \cdot \pi = 188{,}5$, um mit der Umfangsgeschwindigkeit noch in erlaubten Grenzen zu bleiben.

Nach Gl. (14) läfst sich der Durchmesser D des Induktors ermitteln

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{60 \cdot 60 \cdot \pi}{\pi} = 3600.$$

Gl. (15) ergibt mit $f = 7{,}5$ die Windungszahl w der Windungen nebeneinander

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - f \cdot P}{P \cdot k} = \frac{(3600 - 58 - 2)\,\pi - 7{,}5 \cdot 60}{60 \cdot 2} = \sim 88,$$

auf einen Magnet des Induktors kommen demnach 264 Windungen. Gl. (16) läfst die Induktorbreite λ berechnen bei 3 Drahtlagen

$$\lambda = \frac{l}{2 \cdot w \cdot 3} - \varrho - 6\,k - 4 = \frac{480000}{2 \cdot 88 \cdot 3} - 58 - 12 - 4 = 835,$$

während aus Gl. (1) die mittlere Umfangsgeschwindigkeit v folgt

$$v = 100 \cdot 188{,}6 = 18860.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{1{,}13 \cdot 480000}{188{,}6 \cdot 58 \cdot 835} = 0{,}077.$$

Für den induzierenden Magnet mufs sein nach Gl. (18)

$$J^n = 2{,}4\,J = 2{,}4 \cdot 0{,}077 = 0{,}1848 = \sim 0{,}185.$$

Der äufserste Durchmesser des Induktors einschliefslich der Bewickelung setzt sich zusammen aus

D	=	dem mittleren Induktordurchmesser . . .	= 3600
$+\varrho$	=	der radialen Magneteisenkerndimension . .	= 58
$+2$	=	der Isolation des Eisenkernes	= 2
$+3 \cdot 2k$	=	$3 \cdot 2 \cdot 2$ = dreimal der doppelten Drahtdicke einschliefslich der Isolation	= 12
			3672,

so dafs bei 6,5 radialem Spielraum zwischen Induktor und Polschuh, Innenfläche die Ausdehnung der Polschuh-Innenflächen einen Durchmesser im Lichten haben mufs von

$$3672 + 2 \cdot 6{,}5 = 3685,$$

und bei 20 mm vorstehendem Polschuh über den inneren Eisenkern und bei der radialen Dicke ϱ' des Eisenkernes

$$\varrho' = \varrho = 58,$$

wird der mittlere Durchmesser des induzierenden Eisenkernes

$$D' = 3685 + 40 + 58 = 3783.$$

Die peripherische Polschuhlänge p' werde ausgeführt mit

$$p' = 58,$$

wonach sich die Magnetlänge m' aus Gl. (20) ergibt

$$m' = \frac{D' \cdot \pi}{P} - p' = \frac{3783 \cdot \pi}{60} - 58 = 140.$$

Werden die induzierenden Magnete mit dem Strome von einer Spannung $V = 100$ einer der oben berechneten Maschinen gespeist, so ergibt sich die auf jedem induzierenden Magneten aufzubringende Drahtlänge l^n aus Gl. (26)

$$l^n = 24000 \cdot V = 24000 \cdot 100 = 2400000,$$

und aus Gl. (27) folgt der Wert für q^n, wenn $\lambda' = \lambda$ gesetzt und J^n um $^1/_4$ seines Wertes vergrößert wird

$$q^n = \frac{J^n \cdot m' \cdot \varrho' \cdot \lambda'}{l^n} = \frac{0{,}231 \cdot 140 \cdot 58 \cdot 835}{2400000} = 0{,}65.$$

Dem obigen Werte von q^n entspricht eine Stromstärke

$$a^n = 2{,}5 \cdot q^n = 2{,}5 \cdot 0{,}65 = 1{,}6.$$

Das elektrische Güteverhältnis der Maschine ist nach Gl. (33)

$$\frac{a \cdot L - a^n \cdot l^n}{a\,(L + l)} = \frac{2{,}5 \cdot 48000000 - 1{,}6 \cdot 2400000}{2{,}5\,(48000000 + 480000)} = 0{,}96.$$

Möglich und in gewisser Beziehung zweckmäßig wäre es gewesen, die induzierenden und induzierten Magnete so zu berechnen, in Bezug auf ihre Bewickelungen, daß die Bewickelungen in mehrere Serien hätten geschaltet werden können.

F. Transformatoren.

1. **Die Wickelungen.** Die erste oder primäre Wickelung eines Transformators ist vergleichbar der Wickelung der induzierenden Magnete einer Dynamomaschine, welche von einer anderen Maschine mit Wechselstrom erregt wird. Die zweite oder sekundäre Wickelung eines Transformators verhält sich wie die Wickelung eines Induktormagnetes einer Dynamomaschine, die dieselbe Anzahl Polwechsel hat. Die Wickelungen können so, daß sich Pole bilden oder so, daß sich keine Pole bilden aufgebracht werden.

Es seien die Spannung V und die Stromstärke A für die zweite Wickelung gegeben. Wird nach Gl. (1)

$$\frac{v}{m} = 100,$$

d. h. finden 100 Polwechsel des Wechselstromes statt, so ist die Länge l der ersten Wickelung nach Gl. (7)

$$l = 24000 \cdot V \cdot \frac{v}{m} = 240\ V$$

und der Kupferquerschnitt

$$q = 0{,}4\ A \text{ und der Durchmesser } d = \sqrt{0{,}5\ A},$$

wonach sich k ergibt zu $k = d +$ Isolationsdicke. Wird d größer als praktisch aufbringbar oder sind andere Gründe vorhanden, so kann q geteilt und mehrere Drähte, die zusammen den Querschnitt q haben, aufgebracht werden.

Nach Gl. (12) bestimmt sich der Wert von ϱ der radialen Eisenkerndimension $\varrho = 16\,d$,

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}}.$$

Wird m gewählt, so läfst sich nach der umgestalteten Gl. (14) der Durchmesser D ermitteln

$$D = \frac{m}{\pi},$$

und nach Gl. (15) die Windungszahl

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi}{k}.$$

Gl. (16) ergibt die Eisenkernbreite

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \,.\, l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda}.$$

Nach Gl. (25) mufs für die primäre Bewickelung sein

$$J^n = 1{,}2\,J,$$

indem die Wirkung von einer Wickelung auf die andere vollkommener übertragen wird als bei einer Dynamomaschine, und weil die zweite Wickelung stromlos ist, während in der ersten der Stromimpuls erfolgt.

Die verfügbare primäre Spannung V^n bestimmt die Länge der ersten oder primären Wickelung

$$l^n = 24000 \cdot V^n \cdot \frac{v}{m} = 240 \cdot V^n$$

und der Querschnitt derselben ergibt sich nach Gl. (27)

$$q^n = \frac{J^n \cdot m \cdot \varrho \cdot \lambda}{l^n}$$

und aus dem Querschnitt die nötige Stromstärke

$$A^n = 2{,}5 \cdot q^n.$$

2. **Güteverhältnis.** Der Effektverlust in der primären Wickelung ist

$$\frac{A^n \cdot l^n}{24000}$$

der in derselben aufgewendete Effekt ist

$$\frac{A^n \cdot L^n}{24000}$$

und darum der nützliche Effekt

$$\frac{A^n\,(L^n - l^n)}{24000}.$$

Der Effektverlust in der zweiten Wickelung beträgt

$$\frac{A \cdot l}{24000'}$$

der verfügbare Effekt in derselben ist

$$\frac{A \cdot L}{24000}.$$

Das Verhältnis des verfügbaren Effektes zu dem in der ersten Wickelung aufgewandten

$$\frac{A \cdot L}{A^n \cdot L^n} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (34)$$

3. Zur Berechnung eines Transformators seien gegeben die primäre Spannung $V^n = 2000$, die sekundäre Spannung $V = 50$ und die Stromstärke $A = 160$. Die stromgebende Maschine habe 100 Polwechsel in der Zeiteinheit.

Es ergibt sich mit Gl. (7) die Länge der sekundären Wickelung

$$l = 24000 \cdot V \cdot \frac{v}{m} = 240\ V = 240 \cdot 50 = 12000$$

und der Kupferquerschnitt

$$q = 0{,}4 \cdot A = 0{,}4 \cdot 160 = 64 = 4 \cdot 16.$$

Wenn dieser in 4 Drähte von je $q = 16$ zerlegt wird, so ist von einem derselben der Durchmesser

$$d = 4{,}5 \text{ und } k = 5{,}3.$$

Nach Gl. (12) bestimmt sich die radiale Eisenkerndimension

$$\varrho = 16\ d = 16 \cdot 4{,}5 = 72$$

und nach Gl. (13) ein mittlerer Wert der Magnetlänge m

$$m = \sqrt{\frac{q \cdot l}{\varrho \cdot 0{,}075}} = \sqrt{\frac{64 \cdot 12000}{72 \cdot 0{,}075}} = 400.$$

Es werde gewählt $m = 280 \cdot \pi = 880$, so ist der mittlere Durchmesser

$$D = \frac{m}{\pi} = \frac{280 \cdot \pi}{\pi} = 280$$

und nach Gl. (15) die Windungszahl in vierfachen Windungen

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\ \pi}{4 \cdot k} = \frac{(280 - 72 - 2)\ 3{,}14}{21{,}2} = 30,$$

doch sollen nur $w = 25$ zur Ausführung kommen, natürlich können die Windungen anstatt vierfach auch einzeln zu je 25 nebeneinander der einzelnen Drähte aufgebracht und dann die 4 Wickelungen parallel geschaltet werden. Gl. (16) ergibt die Eisenkernbreite

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 2\,k - 4 = \frac{12000}{2.25} - 72 - 10{,}6 - 4 = 154$$

Nach Gl. (10) ist das Verhältnis J geworden

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{64 \cdot 12000}{880 \cdot 72 \cdot 154} = 0{,}079.$$

Wird für die primäre Bewickelung alsdann

$$J^n = 1{,}2 \cdot J = 1{,}2 \cdot 0{,}079 = 0{,}095$$

und ergibt sich die Länge

$$l^n = 240\ V^n = 240 \cdot 2000 = 480000,$$

so ist der Querschnitt nach Gl. (27)

$$q^n = \frac{J^n \cdot m \cdot \varrho \cdot \lambda}{l^n} = \frac{0{,}095 \cdot 880 \cdot 72 \cdot 154}{480000} = 1{,}93$$

und $d = 1{,}6$ und $k = 2{,}4$,

also die Stromstärke $A^n = 2{,}5 \cdot 1{,}93 = 4{,}8$.

Das Güteverhältnis ist

$$\frac{\text{verfügbarer Effekt}}{\text{aufgewandter Effekt}} =$$

$$= \frac{A \cdot L}{A^n \cdot L^n} = \frac{160 \cdot 1200000}{4{,}8 \cdot 48000000} = 0{,}83.$$

III. Abschnitt.

Anhang.

A. Berechnung einer Flachringmaschine.

Zur Berechnung einer Hauptschlufsmaschine, die mit Flachring ausgestattet werden soll, seien gegeben die Spannung $V = 1000$, die Stromstärke $A = 10$ und die Umdrehungszahl $n = 900$.

Es mögen 30 Polwechsel bei der Maschine erfolgen, dann lautet Gl. (1)

$$\frac{v}{m} = 30$$

und die Polzahl ergibt sich aus Gleichung

$$P = \frac{60 \cdot v}{n \cdot m} = \frac{60 \cdot 30}{900} = 2.$$

Gl. (3) ergibt die gröfste Stromstärke

$$a = \frac{A}{P} = \frac{10}{2} = 5$$

und Gl. (5) die ideelle Drahtlänge

$$L = 24000 \cdot 1000 = 24000000,$$

aus Gl. (6) die erste für den Wickelraum maſsgebende Dimension

$$l = 24000 \cdot V \cdot \frac{m}{v} = 24000 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{30} = 800000.$$

Der Kupferquerschnitt, die andere für den Wickelraum maſsgebende Dimension, berechnet sich nach Gl. (8)

$$q = 0{,}4 \cdot a = 0{,}4 \cdot 5 = 2,$$

also der Durchmesser $d = 1{,}6$, so daſs einschlieſslich der Isolation

$$k = 2{,}4.$$

Die radiale Dicke des Eisenkernes des Induktors muſs angenommen werden, weil Gl. (12) keinen Wert von ϱ bestimmen kann bei einer Flachringmaschine. ϱ werde angenommen zu

$$\varrho = 180.$$

Nun kann Gl. (12) einen kleinsten Wert für λ ergeben, indem für diese Eisenkerndimension dieselben Bedingungen gelten wie früher für ϱ. Damit läſst sich m aus Gl. (10) ermitteln und dann ergibt sich die Anzahl Windungen und Lagen, die zur Aufbringung der Drahtlänge l notwendig sind.

Obgleich v, die mittlere Umfangsgeschwindigkeit, früher angedeutete Grenzen nicht überschreiten sollte, werde hier mit v und der Magnetlänge m eine Ausnahme gemacht und gewählt

$$m = 250\,\pi = 785.$$

Nach Gl. (14) ist der mittlere Induktordurchmesser

$$D = \frac{P \cdot m}{\pi} = \frac{2 \cdot 250 \cdot \pi}{\pi} = 500$$

und mit $f = 25$ die Zahl der Windungen nebeneinander

$$w = \frac{(D - \varrho - 2)\,\pi - f \cdot P}{P \cdot k} = \frac{(500 - 180 - 2)\,\pi - 25 \cdot 2}{2 \cdot 2{,}4} = 198.$$

Werden 5 Drahtlagen übereinander angenommen, so ergeben sich auf einem Magnete

$$5 \cdot 198 = 990 \text{ Windungen,}$$

und aus der Gleichung

$$w\,(2\varrho + 2\lambda + 20\,k + 8) = l$$

ergibt sich

$$\lambda = \frac{l}{2\,w} - \varrho - 10\,k - 4 = \frac{800000}{1980} - 180 - 24 - 4 = 196,$$

welcher Wert gröfser als der Minimalwert

$$\lambda = 16 \cdot 5\,d = 128,$$

die mittlere Umfangsgeschwindigkeit ist also

$$v = 30 \cdot 785 = 23550.$$

Die Länge l, bezw. die $5 \cdot 250$ Windungen, sollen nach Gl. (17) ergeben eine Spulenzahl

$$s = \frac{V}{5} = \frac{1000}{5} = 200,$$

jedoch sollen zur Ausführung kommen nur

$$s = 99.$$

Das Verhältnis J ist mit den oben bestimmten Werten nach Gl. (10)

$$J = \frac{q \cdot l}{m \cdot \varrho \cdot \lambda} = \frac{2 \cdot 800000}{785 \cdot 180 \cdot 196} = 0{,}06.$$

Die induzierenden Magnete werden als der Maschinenachse parallel liegende Doppel- oder Hufeisenmagnete ausgebildet mit Eisenkernen von rundem Querschnitt. Bei dem grofsen Abstande der induzierenden und induzierten Eisenmassen voneinander und bei der nur teilweisen Ausnützung der induzierenden Eisenmassen werde gesetzt

$$J^h = 2 \cdot 1{,}5\,J = 3\,J.$$
$$J^h = 3 \cdot 0{,}06 = 0{,}18.$$

Der Eisenkern eines induzierten Magnetes hat den Querschnitt

$$\lambda \cdot \varrho = 196 \cdot 180 = 35280.$$

Dieser Wert von $\lambda \cdot \varrho$ werde $= \lambda' \cdot \varrho'$ gesetzt. Dem entsprechend ist der Durchmesser der induzierenden Magnetkerne $= 212$ mm. Jeder habe die Länge von 314 mm. Demnach ergibt sich die Länge l^h auf 2 zusammengehörigen Magneten

$$l^h = \frac{J^h \cdot m' \cdot \varrho \cdot \lambda'}{q^h} = \frac{0{,}18 \cdot 2 \cdot 314 \cdot 35280}{2} = 0{,}18 \cdot 314 \cdot 35280 =$$
$$= 1994026 = \sim 2000000$$

und die Zahl der Windungen bei Berücksichtigung der mittleren Windungslänge auf einem Magnete aus

$$w^h = \frac{l^h}{(212 + 24{,}0)\,\pi} = \frac{1994026}{236 \cdot 3{,}14} = 2688.$$

Auf jeder Magnethälfte also etwa 1344 Windungen, von denen auf eine Lage $^{m} = \frac{314}{2{,}4} = 130$ Windungen gehen, demnach sind $\frac{1344}{130} =$ 10 Lagen notwendig.

Das Güteverhältnis der berechneten Maschine ist

$$\frac{L - l^h}{L + l} = \frac{24000000 - 2000000}{24000000 + 800000} = 0{,}89.$$

B. Schaltungsregeln für elektrische Maschinen.

Bei der Verschaltung elektrischer Maschinen führt immer ein kurzer Versuch zur Erkenntnis, welche Bürste mit den an einem Polschuhe liegenden Enden der Wickelung der induzierenden Magnete verbunden werden mufs für eine gewisse Drehungsrichtung. Die folgende einfache Überlegung gibt eine Regel an die Hand, mittels welcher ohne Versuch und langes Nachdenken die Schaltung sich ergibt.

Die auf Seite 1 gezeichnete Figur bedarf nur kurzer Erklärung. Sie stellt schematisch eine Dynamomaschine dar mit willkürlich 6 Polen; die induzierenden Magnete sind den induzierten symmetrisch gestaltet und beide mit rechtsläufigen Windungen bewickelt. Eine Stromrichtung, wie sie möglicherweise aufkommen kann, ist eingezeichnet. Es sei die Richtung des positiven Stromes, so dafs die im Induktor und den Magneten eingeschriebenen Polaritäten Gültigkeit haben. Wird die Maschine als Sekundärmaschine in der eingezeichneten Weise mit Strom versehen, so geht der Nordpol im Induktorkern nach dem Südpol im Polschuh, die Maschine dreht sich im Uhrzeigersinne. Den Stromrichtungspfeilen entsprechend mufs alsdann die Bürste am Nordpol des Ankers mit den am Südpol anliegenden Enden der Bewickelung der induzierenden Magnete verbunden werden. Bei gleicher Verbindung und Drehungsrichtung gibt die Maschine als Primärmaschine keinen Strom; bei gleicher Verbindung und dem Uhrzeigersinne entgegengesetzter Drehungsrichtung gibt die Maschine Strom der eingezeichneten Richtung, da die Bewickelung des annähernden Teiles eines induzierten Magnetes, welcher zwischen Bürste und Polschuh liegt, eine Induktion erfährt, die einen Strom von solcher Richtung zur Folge hat, die der Richtung des den wirksamen Magnetismus hervorrufenden Stromes in der Bewickelung des symmetrisch liegenden Stückes des induzierenden Magnetes entgegengesetzt ist und da die Bewickelung

des sich entfernenden Teiles eines induzierten Magnetes, welches zwischen Bürste und Polschuh liegt, eine Induktion erfährt, die einen Strom von solcher Richtung zur Folge hat, die der Richtung des den wirksamen Magnetismus hervorrufenden Stromes in der Bewickelung des symmetrisch liegenden Stückes des induzierenden Magnetes gleich ist.

Bei der Verbindung einer Bürste mit den an einem Polschuhe liegenden Enden der Bewickelung der induzierenden Magnete gibt die Maschine Strom in der Drehungsrichtung vom Polschuhe nach der betreffenden Bürste gerechnet und läuft sekundär in der Drehungsrichtung von der Bürste nach dem Polschuh gerechnet.

Wird in allen Teilen der linkslaufenden Primärmaschine mit obiger Schaltung die Stromrichtung umgekehrt, so bleiben alle Verhältnisse die gleichen. Die Maschine kann ebenso wohl den entgegengesetzt gerichteten Strom geben. Denn wenn angenommen wird, dafs die Maschine nach längerem Stillsetzen ohne remanenten Magnetismus wäre, so bliebe es dem Zufalle überlassen, einem Pole eine Spur Magnetismus zu erteilen, der einen oder der andern Art und die Maschine würde jedenfalls Strom geben von der einen oder der andern Richtung. Als Sekundärmaschine wird jede Maschine sich stets in gleicher Richtung drehen, wie auch die stromzuführenden Pole verwechselt würden. Daraus geht weiter hervor, dafs jede derartige Maschine sekundär mit Wechselstrom betrieben werden kann, wenn nur die induzierenden Magnete zweckentsprechend konstruiert sind.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Centralblatt für Elektrotechnik

erste deutsche

Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre.

Herausgegeben von

F. Uppenborn,

Ingenieur und Elektrotechniker in München.

Erscheint monatlich dreimal. **Preis per Semester 10 M.**

Diese Zeitschrift macht es sich zur Aufgabe, alle wichtigeren Fortschritte auf elektrotechnischem Gebiete mitzutheilen. Dieselbe behandelt ganz speciell die quantitativen Anwendungen der Elektricität für industrielle Zwecke. Tagesfragen finden durch den jeder Nummer vorangestellten Rundschauartikel eine angemessene Würdigung, während eine Umschau auf dem Gebiete physikalischer Forschung die wissenschaftlichen Fortschritte vermittelt. Ein Fragekasten bietet den Lesern Gelegenheit, sich über sie speciell interessirende Fragen Aufklärung zu verschaffen. Ausserdem wird die Zeitschrift Besprechungen einschlägiger Fachwerke, Berichte über deutsche Patente und Auszüge aus der deutschen Patentrolle bringen.

Eine vollständige Unabhängigkeit befähigt die Zeitschrift, die gemeinsamen Interessen der elektrotechnischen Industrie Deutschlands zu vertreten. Da die Zeitschrift schon seit 1879 erscheint, so kann sie, abgesehen von der Telegraphie, als eine vollständige Geschichte der Entwickelung der elektrotechnischen Industrie Deutschlands angesehen werden.

Probenummern gratis und franco.

Neu eintretende Abonnenten erhalten die werthvollen früheren Jahrgänge

1879 bis mit 1886 oder Band 1—8 für 100 Mk. (statt 160 Mk.)

Inserate für das Centralblatt für Elektrotechnik werden mit Ausschluss aller nichtfachlichen Anzeigen angenommen und mit Mk. 4.50 für die achtel Seite: 53 : 72 mm berechnet. Für ständige sog. Jahresinserate kommen die nachstehenden Preise des **Inserat-Abonnements** mit beträchtlich reducirten Preisen zur Anwendung. Die achtel Seite wird bei 12 maligem Erscheinen mit 24,30 Mk., bei 24 maligem Erscheinen mit 41,04 Mk. und bei 36 maligem Erscheinen innerhalb eines Jahres mit 54 Mk. berechnet. Inserat-Abonnements sind bei der Expedition direkt aufzugeben, die entfallenden Beträge pränumerando zahlbar.

München, Glückstrasse 11.

R. Oldenbourg,

Expedition des Centralblattes für Elekrotechnik.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Geist, Ernst Heinrich

Berechnung elektrischer Maschinen Handbuch für Fachleute

München 1889
BHS II H 184
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11558442-4